

Questionnaire de satisfaction

Avis - Bâtir et innover Tendances et défis dans le secteur du bâtiment

Votre opinion nous intéresse. Votre appréciation nous aidera à améliorer nos avis.

Indiquez-nous si vous êtes plus ou moins d'accord avec les énoncés suivants :
Encerclez un chiffre de 1 à 5, allant de fortement en accord (1) à pas du tout d'accord (5)

- | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| 1. L'avis porte sur un sujet de grande importance pour le Québec | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2. L'avis cerne bien les enjeux et la problématique du sujet | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3. L'avis décrit bien les grandes tendances du secteur | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4. Les recommandations sont pertinentes et utiles | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5. Les recommandations sont étayées par de solides analyses | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Dans le cadre de vos activités, êtes-vous ou serez-vous en mesure :

- | | Oui | Non |
|--|--------------------------|--------------------------|
| ➤ d'utiliser l'information contenue dans l'avis | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ➤ d'y diriger d'autres lecteurs | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ➤ de promouvoir la mise en œuvre des recommandations | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Dans quel secteur d'activité travaillez-vous?

- | | | | |
|-------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|
| Administration publique | <input type="checkbox"/> | Université | <input type="checkbox"/> |
| Entreprise privée | <input type="checkbox"/> | Autre (précisez) | <input type="checkbox"/> |
-

**Veillez retourner le formulaire complété par télécopieur au numéro :
(418) 646-0920**

Merci!

Conseil de la science et de la technologie

A V I S
BÂTIR
ET **INNOVER**

TENDANCES ET DÉFIS
DANS LE SECTEUR
DU BÂTIMENT



Québec 

A V I S

BÂTIR
ET INNOVER

**TENDANCES ET DÉFIS
DANS LE SECTEUR
DU BÂTIMENT**

Conseil de la science et de la technologie

A V I S
BÂTIR
ET **INNOVER**

TENDANCES ET DÉFIS
DANS LE SECTEUR
DU BÂTIMENT

Québec 

Conseil de la science et de la technologie

1200, route de l'Église, 3^e étage, bureau 3.45
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4Z2
Téléphone: (418) 644-1165
Télécopie: (418) 646-0920
Courriel: cst@cst.gouv.qc.ca
Site Web: <http://www.cst.gouv.qc.ca>

Coordination, recherche et rédaction

Daniel Lebeau et José Viñals
Agents de recherche
Conseil de la science et de la technologie

Coordination et communication

Cécile Plourde

Révision linguistique

Le Graph

Conception et réalisation graphiques

Éditions MultiMondes

Photographie de la couverture (édifices)

Pierre Bédard

Impression

Imprimerie Le Renouveau

© Gouvernement du Québec 2003

Dépôt légal: 1^{er} trimestre 2003
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

ISBN 2-550-40704-0

Bien que le genre masculin soit souvent utilisé dans le texte, les mots relatifs aux personnes désignent aussi bien les femmes que les hommes.

19 mars 2003

Madame Pauline Marois
Vice-première ministre
Ministre des Finances, de l'Économie et de la Recherche
Gouvernement du Québec
Québec

Madame la Ministre,

Conformément à l'article 15.11 de la Loi favorisant le développement de la Recherche, de la Science et de la Technologie, j'ai l'honneur de vous transmettre l'avis du Conseil de la science et de la technologie *Bâtir et innover. Tendances et défis dans le secteur du bâtiment*.

Je vous prie d'agréer, Madame la Ministre, l'expression de ma haute considération.

La présidente,

Hélène P. Tremblay

Remerciements

Nous souhaitons remercier d'abord le président du comité de pilotage de l'Avis sur le bâtiment, monsieur Jean-Guy Frenette, également membre du Conseil, ainsi que les autres membres du comité : madame Dominique Derome, messieurs Paul Fazio, Roger-Bruno Richard, Denis Thériault, René Tinawi et Richard Vincent.

Nous remercions également toutes les personnes rencontrées dans le cadre d'entrevues et dont la contribution s'est avérée essentielle à la compréhension des enjeux de l'innovation dans le secteur du bâtiment.

Il s'agit en tout premier lieu de messieurs Yves Forté, président du Centre d'études et de recherche pour l'avancement de la construction au Québec (CERACQ) et de Contech, Roberpierre Monnier, conseiller à l'innovation du PARI à l'Association provinciale des constructeurs d'habitations du Québec (APCHQ), et Hugues Rivard, du Centre d'études sur le bâtiment de l'Université Concordia.

Ont également été rencontrés messieurs Pierre Desjardins, directeur du développement des affaires chez Contech, Jacques Trudel, chef du Service de la recherche et du centre de documentation de la Société d'habitation du Québec, Louis Poliquin, directeur du programme Systèmes de construction et bois d'ingénierie chez Forintek, François Robichaud, analyste des marchés des produits du bois de Forintek, André Gagné, directeur des services techniques de l'APCHQ, Daniel Gilbert, président de la Société immobilière du Québec (SIQ), madame Catherine Lessard, directrice des communications de la SIQ, monsieur Claude Bédard, du Centre d'études sur le bâtiment de l'Université Concordia, monsieur Richard Di Muro, directeur général de l'Association des constructeurs du Québec (ACQ), madame Angela Marchetta, directrice de l'administration, des finances et de l'informatique à l'ACQ, et monsieur Pierre Hamel, directeur des affaires juridiques et gouvernementales à l'ACQ.

Nous remercions également monsieur Louis Fortier pour son travail de recherche sur les divers codes du bâtiment en vigueur dans le monde.

Enfin le personnel du secrétariat du Conseil pour son appui tout au long des travaux, en particulier madame Hélène Lafrance, secrétaire.

Coordination, recherche et rédaction
Daniel Lebeau et José Viñals, agents de recherche

Préambule

L'importance de l'innovation au sein des entreprises et des organisations est l'un des grands vecteurs du discours du Conseil de la science et de la technologie. Depuis 1998 notamment, le Conseil a consacré la majorité de ses avis et rapports au sujet. Il a proposé un modèle systémique de développement de l'innovation qu'il a approfondi par la suite. Il en a exploré plusieurs facettes, l'a appliqué tantôt à des secteurs choisis, tantôt aux régions du Québec. Ses recommandations ont continuellement convergé vers une même direction : le système d'innovation, lorsque le concept inclut l'innovation sociale, est au cœur de l'économie du savoir. Or, cette affirmation ne s'applique pas seulement aux entreprises de haute technologie, mais bien à l'ensemble de l'économie, y compris aux secteurs dits traditionnels.

L'industrie de la construction a de tout temps été un pilier de l'économie québécoise. Elle soutient les périodes de croissance comme celle que nous traversons actuellement, en même temps qu'elle en tire profit. Bien que son poids relatif ait diminué depuis une décennie, cette industrie était encore responsable en 2001 de près de 9 % du PIB québécois, lorsqu'on mesure sa contribution à l'aune des investissements publics et privés en bâtiments et travaux de génie.

Les entreprises qui font partie de l'industrie de la construction ou qui gravitent autour d'elle sont-elles innovantes? À notre connaissance, la question n'avait pas encore été posée. Le Conseil a décidé qu'il devenait urgent d'y répondre. En effet, l'évolution démographique atypique, le vieillissement du parc immobilier, les opportunités qui surgissent sur les marchés extérieurs et la concurrence étrangère qui s'annonce sur le marché domestique sont autant de menaces aux acquis de l'industrie québécoise. Ces menaces imposent l'adoption d'une approche systémique qui fera obligatoirement appel à l'innovation.

Trois grandes tendances peuvent être décelées à l'échelle mondiale en matière de construction innovante, chacune d'elles ayant des incidences particulières sur l'industrie. Il s'agit de l'industrialisation de plus en plus poussée du processus de production, du développement durable en tant que cadre de développement et produit d'une industrie responsable et, enfin, de l'innovation sociale qui naît sous la forme de méthodes originales d'organisation du travail et d'intégration des acteurs. Les technologies de l'information rendent possible et accélèrent l'avènement des trois courants en question.

Ce nouvel avis du Conseil consiste d'abord en une étude approfondie du secteur du bâtiment vu sous l'angle de l'innovation. Le lecteur trouvera un chapitre complet consacré à chacune des tendances énumérées ci-dessus. Un chapitre est ensuite réservé aux TI. L'avis offre également un aperçu détaillé des systèmes de R-D voués au soutien à l'innovation au sein du secteur du bâtiment dans les pays les plus avancés en la matière. Enfin, la situation qui a cours au Québec est décrite, de manière à mettre en évidence les principaux problèmes qui s'y posent.

Malgré la diversité des constats qui sont rassemblés à la fin de chacun des chapitres et l'utilité pour l'action de plusieurs d'entre eux, le Conseil a décidé de ne promouvoir que trois recommandations. Mais il juge que ces recommandations centrales sont les plus structurantes et les plus réalistes pour soutenir une industrie caractérisée par une productivité stagnante, une industrie désormais vulnérable et, somme toute, encore peu innovante. Il souhaite en revanche que les acteurs concernés s'approprient l'ensemble de la matière et formulent eux-mêmes, le plus tôt possible, les propositions plus fines qui leur sembleront opportunes.

Hélène P. Tremblay
Présidente

Suzanne D'Annunzio
Secrétaire générale

Table des matières

Liste des sigles et acronymes.....	xx
Introduction	1
Chapitre 1 – Portrait général de l’industrie de la construction	5
1.1 Le secteur du bâtiment et l’industrie de la construction.....	5
1.2 Ce qu’est l’industrie de la construction.....	7
1.3 Importance économique de l’industrie de la construction	9
1.4 L’industrie de la construction sur le plan international	13
1.5 Description de l’industrie de la construction au Québec.....	19
1.6 Deux tendances à long terme	23
1.7 Nature et bref historique des innovations dans le secteur de la construction	26
1.8 Constats.....	30
Chapitre 2 – Première tendance mondiale : l’innovation organisationnelle	33
2.1 Les obstacles à l’innovation	33
2.2 L’ampleur des problèmes.....	36
2.3 Tentatives antérieures pour résoudre les problèmes du secteur de la construction	40
2.4 Pénétration des pratiques organisationnelles innovatrices dans les entreprises	50
2.5 Constats.....	55
Chapitre 3 – Le concept de construction durable	59
3.1 Revue de quelques initiatives internationales.....	60
3.2 La situation au Canada et au Québec	64
3.3 Les principaux enjeux.....	66
3.4 De nouvelles approches.....	74
3.5 Constats.....	76

Chapitre 4 – L’industrialisation de la construction de bâtiments	79
4.1 L’industrialisation et la préfabrication	79
4.2 L’industrialisation de la production d’habitations : l’expérience de quelques pays	84
4.3 Préfabrication et industrialisation du bâtiment au Canada et au Québec	89
4.4 L’état actuel de l’industrialisation de la construction	100
4.5 Les nouvelles conditions d’industrialisation du bâtiment : une opportunité de développement	104
4.6 Constats	110
Chapitre 5 – Les technologies de l’information	113
5.1 Portrait général de l’utilisation des TI dans le domaine de la construction	114
5.2 La conception	118
5.3 La fabrication assistée par ordinateur	122
5.4 La modélisation et la simulation	124
5.5 La standardisation des données	125
5.6 Les TI comme outils d’intégration du secteur du bâtiment	126
5.7 L’importance du design et de la conception	129
5.8 La domotique	129
5.9 Constats	131
Chapitre 6 – Les systèmes de recherche en sciences du bâtiment dans quelques pays	133
6.1 Introduction	133
6.2 Les États-Unis	134
6.3 Le Royaume-Uni	144
6.4 La France	150
6.5 La Suède	155
6.6 La Finlande	158
6.7 Le Japon	161
6.8 Constats	168
Chapitre 7 – L’innovation et le secteur du bâtiment au Québec	171
7.1 La recherche	171
7.2 Les ressources humaines	188
7.3 Commercialisation et exportation	200
7.4 La réglementation	214
7.5 La sécurité sur les chantiers de construction	220
7.6 Constats	225

Chapitre 8 – Recommandations	229
La problématique dans le secteur du bâtiment: une synthèse	229
Recommandation 1	238
Recommandation 2	240
Recommandation 3	241
Conclusion	241
Bibliographie	243
Annexes	
Annexe 1 – Les membres du Comité de pilotage	269
Annexe 2 – Les membres du Conseil de la science et de la technologie	271
Liste des graphiques	
Graphique 1.1 Emploi dans l'industrie de la construction en pourcentage du total, Québec et Canada, 1966-2001	10
Graphique 1.2 Produit intérieur brut au coût des facteurs de l'industrie de la construction en pourcentage du PIB total, Québec, 1984-2001	11
Graphique 1.3 Investissements privés et publics en bâtiments résidentiels, non résidentiels et en travaux de génie, Québec, 1983-2001, en millions de \$	12
Graphique 1.4 Investissements privés et publics en bâtiments résidentiels, non résidentiels et en travaux de génie en pourcentage du PIB, Québec, 1983-2001	12
Graphique 1.5 Exportations de services de construction, d'architecture et de génie-conseil, Canada, 1991-2000, millions de dollars	19
Graphique 1.6 Nombre de salariés actifs dans l'industrie de la construction au Québec, 1990-2001	22
Graphique 1.7 Investissements gouvernementaux en construction en pourcentage du total, Québec	22
Graphique 1.8 Mises en chantier au Québec, 1955-2001	24
Graphique 1.9 Dépenses en réparations en pourcentage du total de la construction, Canada, 1961-1998	25
Graphique 1.10 Dépenses en réparations en pourcentage du total de la construction, Québec, 1994-2000	25
Graphique 1.11 Nombre d'innovations dans l'industrie de la construction aux Pays-Bas de 1946 à 1992	27
Graphique 1.12 Taux annuel moyen de changement de la production par heure travaillée au Canada par secteur d'activité économique, 1961-2000	28
Graphique 2.1 Taux de pénétration de différentes méthodes de gestion des projets de construction	51

Bâtir et innover. Tendances et défis dans le secteur du bâtiment

Graphique 3.1	Les niveaux de décision dans le concept de bâtiment ouvert.....	75
Graphique 4.1	Le processus d'industrialisation appliqué au bâtiment	83
Graphique 4.2	Coûts de construction, moyenne de 12 industries – en \$US le pied carré.....	105
Graphique 5.1	Degré d'informatisation de certains processus de l'industrie de la construction au Canada.....	116
Graphique 5.2	Investissements prévus en TI, au Canada, 1999.....	120
Graphique 6.1	Investissement en R-D des firmes japonaises et américaines du secteur de la construction M\$ US	162
Graphique 7.1	Somme des octrois pour le génie civil et l'architecture 1984-2000.....	173
Graphique 7.2	Sources de financement pour le sous-secteur du bâtiment, 1994-2000	175
Graphique 7.3	Sources de financement du Centre d'études sur le bâtiment de l'Université Concordia (\$).....	177
Graphique 7.4	Dépenses en recherche-développement en pourcentage de la valeur ajoutée des entreprises du secteur de la construction, divers pays, 1999.....	186
Graphique 7.5	Dépenses en recherche-développement des entreprises du secteur de la construction aux États-Unis, en millions de \$US.....	186
Graphique 7.6	Valeur ajoutée par heure travaillée au Québec en dollars constants de 1992, construction et ensemble de l'économie, 1984-1998 (\$)	196
Graphique 7.7	Valeur ajoutée dans la construction par heure travaillée en dollars constants de 1992, Québec et Canada, 1984-1998 (\$).....	196
Graphique 7.8	Exportations d'armoires de cuisine en bois (\$)	204
Graphique 7.9	Exportations de bâtiments préfabriqués en bois (\$)	204
Graphique 7.10	Exportations de portes et fenêtres en bois (\$)	205
Graphique 7.11	Exportations de produits d'architecture et de charpentes métalliques (\$)	205
Graphique 7.12	Exportations de tôles fortes et d'éléments de charpente (\$).....	206
Graphique 7.13	Exportations de bâtiments en métal préfabriqués et de leurs composants (\$).....	206
Graphique 7.14	Production et exportation de systèmes préfabriqués par province, 1996, en millions de dollars.....	207
Graphique 7.15	Jours-personnes perdus par emploi lors de grèves et de lock-out, Québec	217
Graphique 7.16	Jours-personnes perdus par emploi lors de grèves et de lock-out, Québec et Ontario	217
Graphique 7.17	Taux de cotisation à la CSST, ensemble des secteurs et secteur de la construction, 1986-2001	221

Graphique 7.18 Taux d'accidents mortels dans le secteur de la construction par 100 000 travailleurs, différents pays, 1990-1992 222

Graphique 7.19 Taux d'accidents mortels dans le secteur de la construction par 100 000 travailleurs, Union européenne et États-Unis 222

Graphique 7.20 Taux d'accidents mortels au Québec dans le secteur de la construction par 100 000 travailleurs, 1986-2000 223

Graphique 7.21 Nombre d'accidents en pourcentage des travailleurs aux États-Unis, ensemble du secteur de la construction et entreprises membres du CII, 1993-1999 225

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Le processus de construction d'un bâtiment 8

Tableau 1.2 Dépenses en construction en pourcentage du PIB par région, 1996-1998 13

Tableau 1.3 Dépenses de construction dans les vingt principaux pays, 1998 14

Tableau 1.4 Part de marché international des 225 plus grandes firmes de construction présentes sur le marché international, 1999 15

Tableau 1.5 Les vingt plus grandes entreprises en construction dans le monde et les cinq premières entreprises canadiennes, 2001 16

Tableau 1.6 Revenus des dix plus grandes firmes de génie-conseil internationales, 2001 17

Tableau 1.7 Répartition des employeurs et des heures travaillées dans l'industrie de la construction au Québec, 1999 20

Tableau 1.8 Dépenses d'immobilisations totales en construction au Québec 21

Tableau 1.9 Investissements en capital fixe des gouvernements au Québec 23

Tableau 1.10 Origine des innovations en pourcentage 26

Tableau 1.11 Changements à l'essentiel du processus de construction domiciliaire au Canada, du milieu des années 1940 au milieu des années 1980 29

Tableau 2.1 Avantages et inconvénients de la conception-construction 44

Tableau 2.2 Niveau d'implantation de différents principes d'organisation dans huit entreprises de construction 49

Tableau 2.3 Emploi de pratiques organisationnelles innovatrices dans l'industrie de la construction, Canada, Ontario et Québec. Pourcentage des entreprises qui utilisent l'innovation ou qui prévoient l'utiliser au cours des deux prochaines années 52

Tableau 3.1 Principaux enjeux et défis d'une construction durable 60

Tableau 3.2 Principales recommandations du Conseil international du bâtiment 61

Tableau 4.1 Le projet PATH – Objectifs nationaux 86

Tableau 4.2 Production des cinq grands constructeurs japonais, 1993 87

Tableau 4.3a Fabricants de composants préfabriqués en béton au Québec 91

Bâtir et innover. Tendances et défis dans le secteur du bâtiment

Tableau 4.3b	Fabricants de coffrages isolants au Québec	91
Tableau 4.4	Entreprises de bâtiments préfabriqués en métal au Québec	93
Tableau 4.5	Manufacturiers québécois de maisons usinées à ossature de bois	95
Tableau 4.6	Expédition de maisons préfabriquées à ossature de bois pour le Québec, 1982-1991	96
Tableau 4.7	Taux de pénétration de la maison modulaire préfabriquée en pourcentage des mises en chantier, 1987-1996	97
Tableau 4.8	Taux de pénétration de la maison modulaire à ossature de bois en pourcentage des mises en chantier, 1987-1996	98
Tableau 4.9	Systèmes de construction utilisés dans l'industrie de la maison préfabriquée au Canada, 1999	98
Tableau 4.10	Principales caractéristiques de la construction des bâtiments qui réduisent l'industrialisation de la construction	101
Tableau 4.11	Les différents stades d'industrialisation du bâtiment et leur répartition par région	102
Tableau 4.12	Indice du prix moyen (ou médian) d'une maison neuve dans certaines régions nord-américaines, 2000, Montréal = 100 (Un indice élevé correspond au coût élevé d'une maison.)	106
Tableau 5.1	Informatisation des entreprises au Québec	115
Tableau 5.2	Pourcentage d'utilisation de certaines technologies, selon le type d'entreprise, au Canada, 1999	117
Tableau 5.3	Pourcentage d'utilisation de certaines technologies, selon la région, au Canada, 1999	117
Tableau 5.4	Pourcentage d'entreprises utilisant des outils CAO au Canada, 1999	118
Tableau 5.5	Pourcentage d'utilisation de certaines technologies, selon le type d'entreprise, au Canada, 1999	119
Tableau 5.6	Pourcentage d'utilisation de certaines technologies, selon la région, au Canada, 1999	119
Tableau 6.1	Objectifs nationaux du secteur de la construction aux États-Unis (<i>National Construction Goals</i>)	141
Tableau 6.2	Principaux programmes visant à stimuler la recherche et l'innovation dans la construction au Royaume-Uni, 1999-2000 ...	145
Tableau 6.3	Dépenses de recherche en construction du DETR	146
Tableau 6.4	Performance des projets de démonstration au Royaume-Uni, 2001 ...	149
Tableau 6.5	Aide publique à la recherche et à l'innovation en construction en France, 1999	152
Tableau 6.6	Centres de recherche des cinq plus grandes firmes japonaises de construction	163
Tableau 7.1	Répartition des octrois par sous-secteur du génie civil, 1994-2000	174
Tableau 7.2	Sources de financement pour le génie civil et l'architecture, 1994-2000 (000 \$)	174

Tableau 7.3	Répartition des octrois par université pour le sous-secteur du bâtiment, 1994-2000	176
Tableau 7.4	Interventions du gouvernement fédéral en recherche et innovation sur le bâtiment	182
Tableau 7.5	Roulement de la main-d'œuvre, 1999-2001	190
Tableau 7.6	Âge moyen des salariés selon le statut professionnel, 1992-2001	190
Tableau 7.7	Nombre de salariés selon le groupe d'âge, 1992-2001	191
Tableau 7.8	Nouveaux apprentis actifs dans le secteur de la construction selon le métier, 1995-2000	193
Tableau 7.9	Suivi des diplômés avec l'enquête Relance, en pourcentage des diplômés.....	197
Tableau 7.10	Élèves commençant un cours dans une technique du bâtiment au collégial	198
Tableau 7.11	Répartition des usines et des emplois en deuxième transformation du bois au Québec pour quelques secteurs, 1998 ...	203
Tableau 7.12	Facteurs qui ont pour effet de diminuer la fréquence des accidents sur les chantiers selon différentes études	224

Liste des sigles et acronymes

ACFAS	Association francophone pour le savoir
ACQ	Association de la construction du Québec
ACTEC	Advanced Construction Technology Center
AFDICQ	Association des fabricants et distributeurs de l'industrie de la cuisine du Québec
AIE	Architectural Engineering Institute
APCHQ	Association provinciale des constructeurs d'habitations du Québec
ASCE	American Society of Civil Engineers
BAA	British Airport Authority
BFR	Swedish Building Research Council
BFRL	Building and Fire Research Laboratory
BICE	Board on Infrastructure and the Constructed Environment
BOOT	Build-Own-Operate-Transfer
BRE	Building Research Establishment
BRI	Building Research Institute
BTC	Buildings Technology Center
CAO	Conception assistée par ordinateur
CBE	Center for Build Environment
CBPD	Center for Building Performance and Diagnostics
CCMC	Centre canadien de matériaux de construction
CCQ	Commission de la construction du Québec
CEB	Centre d'études sur le bâtiment
CEBQ	Conseil de l'enveloppe du bâtiment du Québec
CERACQ	Centre d'études et de recherche pour l'avancement de la construction au Québec
CERF	Civil Engineering Research Foundation
CERIU	Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines
CERL	Construction Engineering Research Laboratory
CHQ	Corporation d'hébergement du Québec
CIB	Conseil international du bâtiment (International Council for Research and Innovation in Building and Construction)
CICE	Computer-Integrated Construction Group
CIFE	Centre for Integrated Facility Engineering
CII	Construction Industry Institute
CIRANO	Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations

CISH	Center for Integrated Systems in Housing
CMFAO	Conception, modélisation et fabrication par ordinateur
CNB	Code national du bâtiment
CNC	Computer Numerically Controlled
CNRC	Conseil national de recherches du Canada
CNRS	Conseil national de la recherche scientifique
CQRDA	Centre québécois de recherche et de développement de l'aluminium
CRIB	Centre de recherche interuniversitaire sur le béton
CRIQ	Centre de recherche industrielle du Québec
CRSNG	Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada
CSST	Commission de la santé et sécurité au travail
CST	Conseil de la science et de la technologie
CSTB	Centre scientifique et technique sur le bâtiment
DAO	Dessin assisté par ordinateur
DBIA	Design Build Institute of America
DBOOT	Design-Build-Own-Operate-Transfer
DBOT	Design-Build-Operate-Transfer
DETR	Ministère de l'Environnement, du Transport et des Régions
DOD	Department of Defense
DOE	Department of Energy
ECI	European Construction Institute
EDC	Exportation Développement Canada
EDI	Échange électronique de documents
ÉTS	École de technologie supérieure
FAO	Fabrication assistée par ordinateur
FFC	Federal Facilities Council
FFIC	Fonds de formation de l'industrie de la construction
FIAPP	Fully Integrated and Automated Project Processes
FIATECH	Fully Integrated and Automated Technology
FORMAS	Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning
FQRNT	Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies
FRI	Fire Research Institute
GRCAO	Groupe de recherche en conception assistée par ordinateur
GRIF	Groupe de recherche Industrialisation Forum
HLM	Habitations à loyer modique
IAI	International Alliance for Interoperability
IBF	Initiative des bâtiments fédéraux
IBPSA	International Building Performance and Simulation Association
IFC	Industry Foundation Classes
IRC	Institut de recherche en construction
IRSST	Institut de recherche en santé et sécurité du travail

ITAC	Information Technologies for AEC/FM in Canada
JIT	Livraison juste-à-temps
MEQ	Ministère de l'éducation du Québec
MFER	Ministère des Finances, de l'Économie et de la Recherche
MISTRA	Swedish Foundation for Strategic Environmental Research
NAHB	National Association of Home Builders
NIBS	National Institute of Building Science
NIST	National Institute for Standards and Technology
NRC	National Research Council
NSTC	National Science and Technology Council
OCDE	Organisation de coopération et de développement économique
OMC	Organisation mondiale du commerce
OSD	Optimal Structural Design
PALC	Precastable Autoclaved Lightweight Concrete
PARI	Programme d'aide à la recherche industrielle
PATH	Partnership for Advancing Technologies in Housing
PDME	Programme de développement des marchés d'exportation
PDT	Product Data Technology
PEBC	Programme d'encouragement pour les bâtiments commerciaux
PEBI	Programme d'encouragement pour les bâtiments industriels
PIB	Produit intérieur brut
PII	Partenaires en innovation
PIP	Process Industry Practices
PRVQ	Programme de revitalisation des vieux quartiers
PWRI	Public Works Research Institute
Q-Web	Bureau de promotion des produits forestiers du Québec
RBQ	Régie du bâtiment du Québec
SBBC	Structural Building Components Council
SBI	Swedish Institute of Steel Construction
SBUF	Development Fund of the Swedish Construction Industry
SCHL	Société canadienne d'hypothèques et de logement
SDA	Société de développement Angus
SHQ	Société d'habitation du Québec
SIQ	Société immobilière du Québec
SIRICON	Société d'informatique et de recherche pour l'industrie de la construction
SIRU	Système d'information sur la recherche universitaire
SSF	Swedish Foundation for Strategic Research
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
TI	Technologie de l'information
VTT	Centre de recherche technique de la Finlande

Introduction

De tout temps et dans toutes les cultures, l'édification de logements, de bâtiments publics et d'infrastructures venant appuyer les diverses activités économiques, politiques, religieuses, culturelles ou sociales a constitué l'une des expressions de l'activité humaine parmi les plus importantes et les plus tangibles. Aujourd'hui, les bâtiments, ou ce qu'il en reste, demeurent parfois même l'un des rares témoignages de l'existence d'une civilisation ancienne. La construction est une composante essentielle de toutes les économies. Elle vient soutenir l'ensemble des activités de logement, de production et d'échange en leur fournissant les infrastructures nécessaires à leur concrétisation.

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, la nécessité de reconstruire les régions dévastées par la guerre, les pressions démographiques, l'évolution technologique, le rôle accru des gouvernements ainsi que la forte croissance économique ont suscité une grande demande en bâtiments et en infrastructures publiques dans les pays industrialisés. Au cours des vingt années qui ont suivi, la construction est ainsi apparue comme le fer de lance de la plupart des économies nationales, soutenue par les gouvernements qui en sont devenus les principaux clients ainsi que les principaux acteurs en matière de recherche et développement.

Cependant, au fur et à mesure que les besoins en logement et en infrastructures publiques ont été satisfaits, les gouvernements se sont progressivement désintéressés de ce secteur. De plus, les difficultés budgétaires croissantes auxquelles ont été confrontés la plupart des gouvernements sont venues renforcer cette tendance en diminuant le rôle de l'État comme demandeur d'infrastructures et de bâtiments publics. L'industrie de la construction, avec ses particularités régionales, liées au climat et à l'environnement, et avec la forte présence de PME actives uniquement à l'échelon local, a donc été reléguée à un niveau fort éloigné des priorités nationales. De plus, l'industrie a traditionnellement adopté une attitude passive à l'égard de la recherche et de l'innovation technologique, se contentant le plus souvent d'adopter prudemment les innovations nées dans d'autres secteurs industriels.

Bien que l'industrie de la construction et le secteur du bâtiment traversent actuellement une période favorable, la plupart des prévisions sont assez pessimistes. Au Québec, le marché de la construction ne représente qu'environ 60 % de ce qu'il était il y a dix ans. Les comparaisons inévitables avec les performances des industries de la nouvelle économie, qui s'avèrent plutôt

défavorables à l'industrie de la construction, forcent de plus en plus le secteur à s'interroger sur ses pratiques et sur ses capacités d'innovation, comme en font foi les nombreuses études publiées sur ce sujet dans plusieurs pays.

Afin de circonscrire un sujet aussi vaste, le présent avis met l'accent sur le secteur du bâtiment. Si celui-ci exclut les travaux de génie, il comprend en revanche la construction résidentielle, industrielle, commerciale et institutionnelle. Et le découpage retenu par le Conseil n'est pas étanche : chaque fois que l'information ou les données recueillies permettent d'inclure le premier secteur mentionné, l'avis en fera état ; surtout, l'analyse traitera régulièrement des entreprises manufacturières directement en amont du secteur, de même que des entreprises de service-conseil. L'intention est ici de faire un compromis aussi judicieux que possible entre l'étendue de l'objet d'étude et une approche systémique de son développement.

Ce document vise à explorer l'innovation dans un secteur traditionnel qui est considéré comme peu innovant. Ses principaux objectifs sont de :

- comprendre la nature de l'innovation dans le secteur du bâtiment et déterminer les principaux problèmes et obstacles auxquels ce secteur doit faire face et qui l'empêchent d'innover davantage ;
- dresser un état de la recherche et de l'innovation dans le secteur du bâtiment ;
- définir quels sont les nouveaux besoins en recherche (et en formation) issus des nouvelles technologies en émergence ou du concept de construction durable ;
- tracer un portrait des politiques publiques dans le monde pour soutenir l'innovation et documenter les mécanismes actuels de transfert des résultats de recherche vers l'industrie ;
- formuler des recommandations susceptibles de favoriser l'innovation dans ce secteur.

L'examen du processus d'innovation dans le secteur du bâtiment revêt une très grande importance pour plusieurs raisons. La première est liée au poids économique d'un secteur qui représente en ce moment 5 % du produit intérieur brut (PIB) en valeur ajoutée et près de 9 % du PIB lorsqu'on inclut la valeur des matériaux utilisés ainsi que celle des services de génie et d'architecture nécessaires. La seconde raison tient à la faible croissance de la productivité du secteur, imputable au fait qu'il innove peu. Le Conseil a toujours été d'avis que tous les secteurs industriels doivent innover, peu importe qu'ils soient classés comme faiblement, moyennement ou hautement technologiques.

De plus, en particulier parce que les éléments et les matériaux doivent être assemblés sur place et qu'ils sont pondéreux, le secteur de la construction a jusqu'ici été protégé de la concurrence étrangère. Cette situation pourrait être appelée à changer au cours des années qui viennent et il serait dangereux que le secteur attende les contrecoups de la concurrence avant de réagir.

L'Avis se présente de la façon qui suit. Dans un premier temps, nous traçons un portrait général de l'industrie de la construction tant au Québec qu'au niveau international en insistant plus particulièrement sur ses aspects économiques. Dans un deuxième temps, nous examinons en profondeur quatre grandes tendances qui se sont faites jour un peu partout dans le monde au cours des quinze à vingt dernières années sur le plan de l'innovation, soit les nouvelles pratiques organisationnelles sur les chantiers, la construction durable, l'industrialisation de la construction de bâtiments et, enfin, le recours aux technologies de l'information. Dans un troisième temps, nous donnons un aperçu de la recherche dans les grands pays industrialisés que sont le Japon, les États-Unis, la France, les pays nordiques et le Royaume-Uni. Enfin, nous dressons un état de la situation du bâtiment au Québec sur plusieurs plans: recherche et développement, réglementation, ressources humaines, sécurité sur les chantiers et exportations.

Nous terminons avec trois recommandations essentielles pour stimuler l'innovation dans le secteur du bâtiment au Québec au cours des années à venir.

1 Portrait général de l'industrie de la construction

Ce premier chapitre trace un portrait succinct de l'industrie de la construction. Dans un premier temps, il délimite le secteur du bâtiment et l'industrie de la construction et, par la suite, il décrit le processus de construction. Dans un deuxième temps, il expose l'importance économique de l'industrie de la construction et certaines de ses caractéristiques. Dans un troisième temps, il dégage quelques tendances futures et, enfin, il traite brièvement de la nature et des sources d'innovation dans le secteur du bâtiment.

1.1 Le secteur du bâtiment et l'industrie de la construction

Les définitions de bâtiment étant nombreuses, nous utiliserons, aux fins de cet avis, celle qu'en donne Statistique Canada :

Un bâtiment est une construction permanente qui comporte des murs et un toit protégeant des biens ou des personnes d'une réalité sociale ou physique. Il peut aussi s'agir d'un abri mobile ou temporaire destiné à rester à un endroit donné pour une période prolongée, ou encore d'une annexe ou des dépendances nécessaires pour leurs fonctions de contenance, de soutien, d'accès ou de protection, ainsi que du matériel et de l'outillage faisant partie intégrante de la structure et servant par exemple à la plomberie, aux installations électriques, à la climatisation ou aux ascenseurs. Par exemple, un hangar pour avions, une usine, un hôpital, un hôtel, un immeuble à bureaux, une gare ferroviaire, une école et un centre commercial sont des bâtiments¹.

Le secteur du bâtiment fait partie de l'industrie de la construction. Cette dernière comporte trois grands secteurs :

- La construction résidentielle
- La construction non résidentielle
 - industrielle
 - commerciale
 - institutionnelle
- Les travaux de génie

1. Statistique Canada, *Investissements privés et publics au Canada*, catalogue 61-206-XIB.

À l'intérieur de chacun de ces secteurs, les entreprises ont tendance à se spécialiser en fonction du type de travaux (excavation, structure, électricité, etc.) ou du type de constructions (maison, hôpital, route, etc.) à réaliser (voir encadré).

Les différents secteurs de l'industrie de la construction	
Bâtiments et habitations	Autres ouvrages (qui ne sont pas des édifices)
Construction résidentielle	Travaux de génie civil
Maisons unifamiliales	
Duplex, triplex, multiplex	Routes
Maisons à logements, copropriétés	Égouts
	Ponts
Construction non résidentielle	Barrages
<i>Institutionnelle</i>	Chemins de fer
Hôpitaux	Ports
Écoles	Aéroports
Édifices ministériels	Pipelines
Musées	Installations gazières et pétrolières
<i>Commerciale</i>	Lignes de transmission d'électricité
Bureaux	...
Commerces	
Hôtels	
<i>Industrielle</i>	
Usines	
Installations agricoles	
Centrales thermiques, nucléaires	

L'industrie de la construction, envisagée dans sa globalité, est très complexe. Chacun des trois secteurs qui la composent répond à une dynamique particulière. Cet avis porte avant tout sur deux secteurs, à savoir la construction résidentielle et la construction non résidentielle. Étant donné l'ampleur des secteurs à couvrir, la décision fut prise au début des travaux d'écarter le secteur des ouvrages de génie. Ce dernier secteur concerne de manière étroite le génie-conseil et mériterait sans doute à lui seul un avis.

La littérature et les données statistiques disponibles sur l'industrie de la construction ne font pas toujours explicitement les distinctions qui s'imposent entre ses trois composantes. Aussi adopterons-nous le terme générique *construction* pour désigner l'ensemble des trois secteurs, le mot *bâtiment* pour désigner l'ensemble des secteurs résidentiel et non résidentiel et l'expression

travaux de génie pour désigner le secteur des grands travaux d'infrastructure. Nous accorderons dans cet avis une attention particulière aux grandes tendances qui se dessinent dans le secteur du bâtiment à l'échelle internationale et certaines réflexions pourront s'appliquer indifféremment à l'ensemble des trois secteurs, lorsque l'information s'y prêtera.

1.2 Ce qu'est l'industrie de la construction

D'après plusieurs auteurs, la construction est plus un processus qu'une industrie. Dans ce processus, plusieurs organisations différentes et de nombreux secteurs industriels sont réunis temporairement dans la réalisation d'un projet : construire un édifice, une maison, une infrastructure. La construction met donc en scène de multiples acteurs et comporte plusieurs étapes de réalisation qui vont de la planification à la conception² et à l'ingénierie, à la fourniture, à l'érection et à l'intégration de nombreux matériaux, composants et systèmes (ventilation, chauffage, etc.). De ce fait, la firme maître d'œuvre du projet doit savoir gérer des réseaux multiples et complexes.

La complexité est d'ailleurs une caractéristique importante de la construction. Par exemple, une maison peut comporter l'assemblage de dizaines de milliers de pièces, alors qu'une automobile n'en compte qu'environ 3 000. Mais, surtout, la gestion d'équipes provenant de différentes entreprises soulève des problèmes multidimensionnels de logistique et d'organisation du travail.

*Une industrie
très complexe*

La méthode traditionnelle de fonctionnement du secteur du bâtiment fait appel à la réalisation plus ou moins séquentielle de différentes tâches (tableau 1.1). Le client commence par définir ses besoins, puis il choisit un architecte qui effectue des plans à partir des spécifications qui lui sont transmises. Les ingénieurs font ensuite la conception des éléments structuraux. L'entrepreneur général, choisi à la suite d'un appel d'offres, a recours à une multitude de sous-traitants (plomberie, électricité, finition et érection des murs, ventilation, toiture, etc.), également choisis par appel d'offres.

Sauf lorsqu'il s'agit du gouvernement et de quelques grandes firmes, le client ne possède pas l'expertise technique nécessaire pour évaluer la qualité des plans qui lui sont proposés ni celle des travaux réalisés. Le client doit donc se contenter de fixer les objectifs que l'architecte cherchera à atteindre. En effet, dans la plupart des cas, le client n'a pas l'habitude de commander un projet. C'est parfois même le seul projet qu'il fera exécuter. Le projet en lui-même constitue un prototype qu'il est impossible d'améliorer progressivement, comme c'est la pratique dans le secteur manufacturier³.

*Des clients
non experts*

2. Dans le cadre de cet avis, la conception fait référence au travail des architectes et des ingénieurs dans le cas du bâtiment et des ingénieurs dans le cas des travaux de génie.

3. À moins de recourir à la préfabrication, qui se fait alors dans la presque totalité des cas dans une usine.

Tableau 1.1
Le processus de construction d'un bâtiment

1. Élaboration du concept
2. Obtention du financement
3. Mise en œuvre de la conception
4. Approbation réglementaire
5. Construction
 - érection de la base
 - élévation de la structure
 - revêtement intérieur et extérieur
 - installation des services
(ventilation, climatisation, ascenseurs, plomberie, etc.)
6. Entretien des actifs
7. Démolition des actifs après leur vie utile

Source: *Cadre de compétitivité sectorielle «La construction» et Impact des nouvelles technologies sur la structure économique du Québec: la construction.*

Les particularités de l'industrie

Le secteur de la construction se caractérise donc par une multitude de particularités qui lui sont souvent propres. Mentionnons-en les principales:

- Le bâtiment est assemblé sur un site précis dans des conditions parfois difficiles, notamment les conditions climatiques.
- Plusieurs des éléments sont pondéreux de sorte qu'ils sont difficilement manipulables, ce qui nécessite, par exemple, l'utilisation de grues.
- Le travail est complexe en raison du nombre élevé d'éléments à assembler et du nombre d'équipes, d'organisations et d'entreprises concernées. Le travail s'effectue la plupart du temps à l'intérieur d'un *réseau temporaire* très fragmenté. Le producteur (le plus souvent l'entrepreneur général) ne contrôle donc pas bien le processus de production du bâtiment.
- Le produit est vendu avant d'être assemblé. Le client ne peut donc pas en évaluer la qualité. Il doit par conséquent se fier à la réputation des firmes d'architectes ou d'ingénieurs et à celle des entrepreneurs généraux pour effectuer son choix.
- La durée de vie d'un bâtiment est souvent très grande.
- Le bâtiment impose un niveau élevé de responsabilité sociale à ceux qui y travaillent; il doit répondre, au-delà de ses aspects fonctionnels, à des critères esthétiques, symboliques et urbanistiques.

- Chaque projet est unique ; la standardisation et la production de masse sont impossibles, sauf dans le cas des bâtiments usinés et préfabriqués.
- Les travailleurs doivent se déplacer sur le chantier. Il faut également déplacer les matériaux et les outils. La situation diffère donc de celle d'un bureau ou d'une usine.
- Dans plusieurs pays (européens notamment), on note un roulement élevé de la main-d'œuvre, donc un niveau de compétences assez faible dans certains cas.
- La responsabilité du bâtiment est partagée entre les architectes-ingénieurs, le client, l'entrepreneur général et les nombreux sous-traitants.
- Enfin, la réglementation et les conventions sont généralement très détaillées et très complexes. Elles jouent un rôle important dans la conduite des projets.

L'érection du bâtiment sur un site donné a plusieurs implications. Il faut d'abord composer avec des conditions climatiques variables et parfois difficiles, surtout dans les premières phases. Évidemment, le problème est encore plus aigu dans les pays nordiques. Il faut également recourir à une main-d'œuvre locale. La qualité de la main-d'œuvre peut donc varier d'un projet à l'autre même si les travaux sont effectués par le même entrepreneur général ou par la même firme d'ingénierie. Il faut également gérer des contraintes d'espace : les équipes de différents corps de métiers doivent parfois travailler dans une même pièce encombrée de matériaux. En effet, les matériaux ne sont généralement pas livrés en juste-à-temps, mais plutôt en grosse quantité pour réduire les coûts de livraison, simplifier la logistique et s'assurer que les travailleurs n'ont pas à attendre.

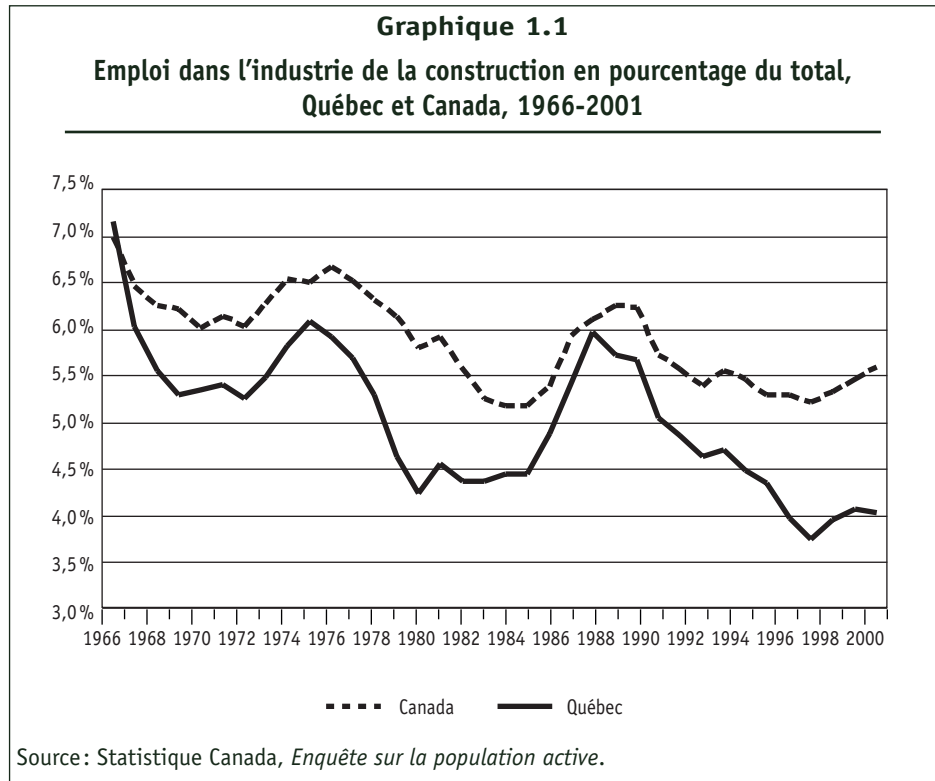
L'érection du bâtiment sur un site est donc associée à plusieurs conditions sous-optimales : congestion, arrêts fréquents, obstruction par des matériaux, arrêt attribuable dans certains cas à un manque de matériaux, d'équipement ou encore d'instructions, heures supplémentaires, équipe de travailleurs plus grande que nécessaire, difficulté à planifier correctement les tâches, les équipes, les matériaux et l'équipement. Régulièrement, la reprise de certains travaux est nécessaire, à cause soit de problèmes de qualité, soit des changements exigés par le client ou les équipes d'architectes-ingénieurs. Les effets en sont très négatifs sur la productivité du secteur.

Des conditions de réalisation difficiles

1.3 Importance économique de l'industrie de la construction

L'importance économique de l'industrie a diminué de façon substantielle au cours des trente dernières années tant au Canada qu'au Québec. La chute est cependant beaucoup plus prononcée au Québec. Le pourcentage de l'emploi total au Québec est passé de 7,2 % en 1966 à 4 % en 2001 et de 7 % à 5,6 % pour l'ensemble du Canada sur la même période. Ce sont tout de même 140 000 personnes qui travaillaient dans l'industrie de la construction en 2001 au Québec.

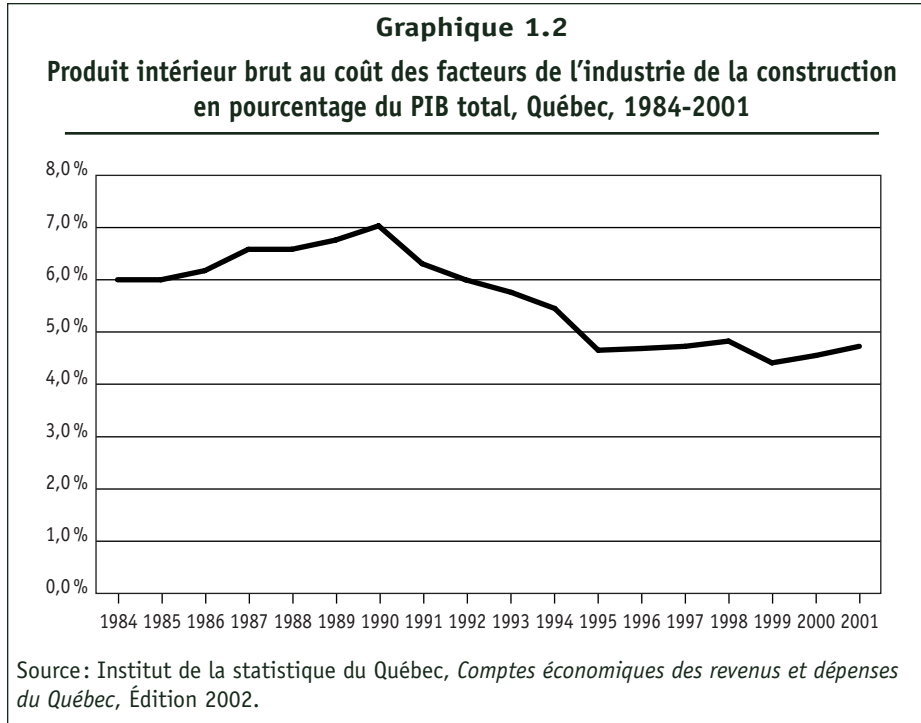
Le graphique 1.1 illustre l'évolution de l'emploi. Il fait également ressortir que la construction est une industrie très cyclique, qui réagit fortement aux hausses comme aux baisses des taux d'intérêt et de l'activité économique.



*Une industrie
très cyclique
liée à l'activité
économique*

La valeur ajoutée de l'industrie de la construction (soit le PIB au coût des facteurs) en pourcentage du PIB total est un autre indicateur de son importance économique. Il a augmenté entre 1984 et 1990, passant de 6,0% à 7,0%, et a diminué par la suite de façon continue, se stabilisant aux environs de 4,7% entre 1995 et 2001 (graphique 1.2).

Cependant, la mesure de la valeur ajoutée dans l'industrie de la construction seulement a tendance à sous-estimer sa contribution totale à l'activité économique. En effet, l'industrie utilise de façon intensive des matériaux fabriqués par le secteur manufacturier ainsi que des services-conseils, ceux d'ingénierie et d'architecture en particulier. Ces derniers, selon la classification industrielle, font partie d'un autre secteur, celui des services aux entreprises. Pour obtenir un aperçu complet de l'importance économique totale de l'industrie de la construction, il faut examiner les investissements tant privés que gouvernementaux en bâtiments résidentiels et non résidentiels ainsi qu'en travaux de génie. En effet, ces investissements incluent la valeur ajoutée par l'industrie de la construction ainsi que la valeur des matériaux, composants et services-conseils.

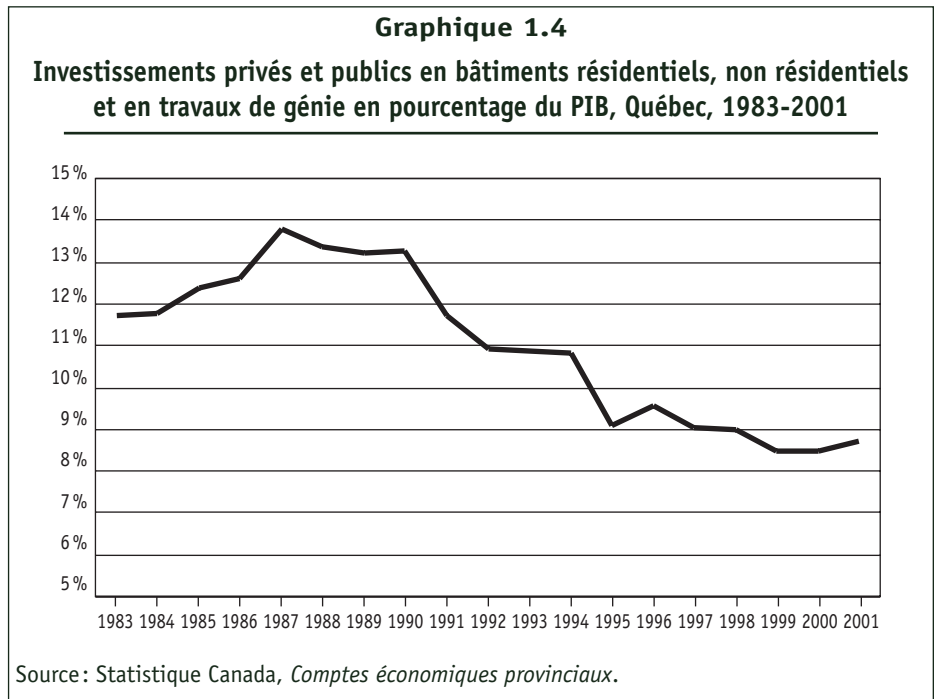
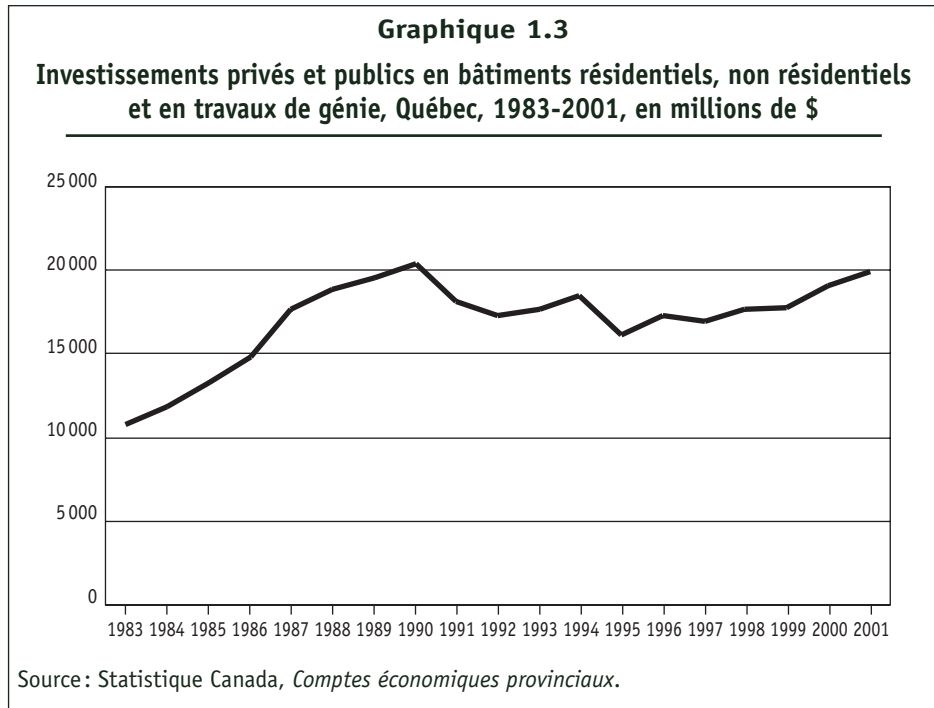


Les années 1990 ont été très difficiles pour l'industrie de la construction. La forte hausse des taux d'intérêt au début des années 1990 a provoqué une sévère récession qui a perduré au-delà du milieu de la décennie, déprimant les investissements privés dans la construction résidentielle aussi bien que non résidentielle. De plus, les gouvernements ont été soumis à des contraintes budgétaires sévères qui ont entraîné une diminution marquée des investissements gouvernementaux. On assiste cependant à un renversement de tendance tant en 2000 qu'en 2001, tendance qui devrait se poursuivre au cours des années subséquentes. En 2001, ces investissements privés et publics totalisaient tout près de 20 milliards de dollars, soit 8,7 % du PIB total. On est par contre encore loin du sommet de 13,8% atteint en 1987 (graphiques 1.3 et 1.4).

En somme, l'industrie de la construction demeure un secteur économique d'envergure même si son importance a substantiellement diminué au cours des quarante dernières années. Cependant, les années 1990 marquent un creux. L'industrie de la construction connaît actuellement un regain grâce à l'amélioration de la situation budgétaire des gouvernements, aux effets de la croissance économique sur les investissements privés, en particulier dans le non-résidentiel, et enfin aux très faibles taux de vacance dans le secteur du logement résidentiel.

*Les années 1990
difficiles*

*Un regain grâce
à l'amélioration du
contexte budgétaire*



1.4 L'industrie de la construction sur le plan international

Il vaut la peine d'examiner brièvement l'industrie de la construction au niveau international afin de dégager certaines caractéristiques susceptibles d'influencer cette industrie au Canada et au Québec. Il est clair qu'il existe une relation entre son importance relative dans le PIB et le degré de développement économique d'un pays⁴. Comme le montre le tableau 1.2, c'est dans les pays en voie d'industrialisation rapide, la Chine par exemple, que la part du PIB attribuée à la construction atteint son maximum, alors qu'elle est à son plus faible dans les pays les plus industrialisés comme les États-Unis et le Canada. Dans les pays très faiblement développés, la construction occupe une position intermédiaire. Deux pays industrialisés – le Japon et l'Allemagne – semblent cependant faire exception, puisque la part de leur PIB associée à la construction demeure très élevée. Dans le cas de l'Allemagne, cela s'explique par la nécessité de reconstruire l'ex-Allemagne de l'Est. Par contre, le cas du Japon est moins clair. Il semble notamment que ce pays ait encore besoin de construire beaucoup d'infrastructures de transport ou de modifier les infrastructures actuelles pour les rendre plus résistantes aux tremblements de terre. Il est frappant de constater que le Japon, malgré une économie deux fois plus petite que celle des États-Unis, investit pourtant un montant presque équivalent en construction (tableau 1.3).

Les pays en voie d'industrialisation rapide investissent davantage

Tableau 1.2

Dépenses en construction en pourcentage du PIB par région, 1996-1998

Asie	14,5
Afrique	11,6
Europe	10,5
Amérique latine	12,1
Amérique du Nord	8,3
Moyen-Orient	11,3
Ensemble de ces régions	11,1

Source: David Crosthwaite, «The global construction market: A cross-sectional analysis», *Construction Management and Economics*, vol. 18 (2000), p. 619-627.

Le tableau 1.4 permet un examen des grandes firmes de construction dans le monde. On n'y compte que quatre firmes de construction canadiennes sur le marché international en 1999. Ces firmes n'ont obtenu que 50 millions des 118,7 milliards de dollars US distribués en contrats internationaux.

Peu de grandes firmes canadiennes et québécoises

4. Voir David Crosthwaite, «The global construction market: A cross-sectional analysis», *Construction Management and Economics*, vol. 18 (2000), p. 619-627.

Tableau 1.3
Dépenses de construction dans les vingt principaux pays, 1998

Rang	Pays	1998 (M\$ US)
1	États-Unis	651 607
2	Japon	626 525
3	Allemagne	314 992
4	Chine	185 912
5	Royaume-Uni	104 880
6	Brésil	102 095
7	France	97 979
8	Italie	95 271
9	Corée	73 631
10	Canada	71 963
11	Russie	65 193
12	Espagne	59 417
13	Inde	52 729
14	Mexique	51 300
15	Argentine	41 645
16	Pays-Bas	40 645
17	Australie	39 133
18	Taïwan	29 884
19	Suisse	26 833
20	Suède	24 091

Source: *Engineering News Record*.

*Un frein à
l'innovation*

Il s'agit d'un lourd handicap quant à la capacité d'innover des firmes canadiennes et québécoises. En effet, partout dans le monde, ce sont essentiellement les grandes firmes qui effectuent de la recherche et qui sont à l'avant-garde de la technologie. Pourtant, la taille du marché canadien n'explique pas cette absence. En effet, la taille du marché intérieur de la construction au Canada se compare avantageusement à celle de la plupart des pays européens. Elle est même trois fois plus grande que celle de la Suède où la firme Skanska AB a obtenu des revenus totaux de 10,7 milliards de dollars US en 2001, dont 8,6 milliards en contrats internationaux. En fait, tous les pays industrialisés et en voie d'industrialisation ont quelques grandes firmes dans le domaine de la construction. Ils disposent donc tous de chefs de file, la plupart actifs sur le marché international. Il est frappant de constater à quel point les firmes européennes de construction sont performantes à l'échelle internationale. En revanche, les firmes japonaises, qui se situent parmi les plus grandes au monde,

sont peu internationalisées, le pourcentage de leurs revenus provenant de l'international étant assez faible.

Tableau 1.4
Part de marché international des 225 plus grandes firmes de construction présentes sur le marché international, 1999

Pays	Nombre de firmes	Contrats internationaux (M\$ US)	%
États-Unis	74	28 654	24,1
Canada	4	50	0
Europe	67	63 642	53,6
Royaume-Uni	6	13 907	11,7
Pays-Bas	5	4 554	3,8
France	9	15 618	13,2
Allemagne	12	12 454	10,5
Italie	9	3 178	2,7
Autres pays	26	13 928	11,7
Japon	18	11 550	9,7
Chine	33	6 098	5,1
Corée	7	2 777	2,3
Autres pays	22	5 907	5
Total	225	118 681	100

Source : *Engineering News Record*.

En 2001, seules cinq firmes canadiennes se classaient parmi les 225 plus grandes entreprises en construction sur le plan des contrats internationaux (tableau 1.5). Au total, les cinq entreprises avaient récolté 195 millions de dollars US, un montant nettement supérieur aux 50 millions obtenus en 1999, mais extrêmement marginal dans l'ensemble mondial. La situation canadienne est d'autant plus préoccupante que la plus grande firme, Aecon, dont le siège social est en Ontario, est propriété à 49% de la firme allemande Hochtief. Une prise de contrôle étrangère comporte des aspects positifs (accès à des nouvelles technologies, à de nouvelles expertises, à de nouvelles façons de faire, etc.), mais également négatifs (risque d'enfermement de la firme canadienne dans le marché local et possibilité de transfert d'une partie des contrats vers la société mère).

Tableau 1.5
Les vingt plus grandes entreprises en construction dans le monde
et les cinq premières entreprises canadiennes, 2001

Rang	Nom de l'entreprise	Pays d'origine	Revenus totaux (M\$ US)	Revenus internationaux (M\$ US)	En % du total
1	Vinci	France	16 126	6 324	39,2
2	Taisei Corp.	Japon	13 432	354	2,6
3	Bouygues	France	12 656	5 664	44,8
4	Bechtel Group	États-Unis	12 390	6 811	55,0
5	Hochtief AG	Allemagne	12 033	9 107	75,7
6	Kajema	Japon	11 791	1 373	11,6
7	Shimizu	Japon	11 407	713	6,3
8	Obayashi	Japon	10 933	885	8,1
9	Skanska AB	Suède	10 808	8 640	79,9
10	Takenaka	Japon	10 729	600	5,6
11	Fluor Corp.	États-Unis	7 824	3 280	41,9
12	Philipp Holzmann	Allemagne	5 950	3 578	60,1
13	Eiffage	France	5 804	761	13,1
14	Bovis Land Lease	Royaume-Uni	5 782	4 432	76,7
15	Kellogg Brown & Root	États-Unis	5 283	3 955	74,9
16	Amec PLC	Royaume-Uni	4 829	2 427	50,3
17	Peter Kiewit & Sons	États-Unis	4 629	259	5,6
18	China State Corp.	Chine	4 703	1 279	27,2
19	HBG	Pays-Bas	4 614	3 568	77,3
20	Hyundai Engineering	Corée	4 452	2 014	45,2
Données sur les firmes canadiennes, à titre indicatif					
	Aecon Inc.	Ontario	671	126	18,8
	Pomerleau	Québec	182	20	11,0
	Uma Group	Colombie-Britannique	76	22	28,9
	Arno Électrique	Québec	65	5	7,7
	Sandwell	Colombie-Britannique	23	22	95,7

Source : *Engineering News Record*.

En fait, comme le montre bien le tableau 1.6, la force du Canada et du Québec ne réside pas dans les firmes de construction, mais dans celles de génie-conseil.

Tableau 1.6
Revenus des dix plus grandes firmes
de génie-conseil internationales, 2001

Rang	Nom de la firme	Type de firme	Revenus totaux (M\$ US)	Revenus provenant de l'international (M\$ US)
1	URS, États-Unis	IAC	2 273	232
2	Bechtel, États-Unis	IC	2 012	761
3	Jacobs, États-Unis	IAC	1 759	489
4	SNC-Lavalin, Canada	I	1 561	521
5	AECOM Technology, États-Unis	IA	1 546	405
6	Fluor, États-Unis	IC	1 543	725
7	Earth Tech, États-Unis	IC	1 456	480
8	Parsons, États-Unis	IC	1 329	153
9	CH2M HILL, États-Unis	IA	1 303	207
10	WS Atkins, Royaume-Uni	I	1 036	218

I = ingénierie, A = architecture, C = construction

Source : *Engineering News Record*.

SNC-Lavalin est la quatrième firme mondiale de génie-conseil. Elle disposait de revenus de près de 1,6 milliard de dollars US en 2001⁵, dont le tiers provenait de l'extérieur du Canada. Cependant, SNC-Lavalin travaille en génie-conseil. Elle n'intègre pas les travaux d'architecture et peu ceux de construction, contrairement à la plupart des grands joueurs internationaux.

La question devient ici de savoir pourquoi les firmes canadiennes ne sont pas aussi intégrées que les firmes étrangères. Il est possible que la réponse tienne à l'appui moindre du gouvernement canadien. En effet, d'après les études disponibles, l'aide financière consentie par le passé sous forme de bonification de taux d'intérêt, de subventions à l'exportation, etc., fut un facteur majeur de succès des firmes étrangères de construction⁶. De plus, certaines firmes européennes,

L'appui des gouvernements, un facteur de succès des firmes étrangères

5. En dollars canadiens, les revenus furent de 2 326,8 millions.

6. Voir notamment OCDE, *La mondialisation industrielle, Quatre études de cas : pièces automobiles, produits chimiques, construction et semi-conducteurs*, 1992.

françaises et italiennes notamment, ont l'avantage d'appartenir à de grands groupes industriels et financiers qui leur apportent un soutien financier essentiel. Les négociations récentes ou en cours à l'OMC visent à éliminer les subventions à l'exportation, mais force est de constater que ces dernières, en particulier dans les pays européens, ont eu pour effet de créer de grandes firmes intégrées en génie et construction qui dominent actuellement les marchés internationaux.

Tout comme le Canada, les États-Unis ont eux aussi moins soutenu ce secteur que leurs homologues européens, ce qui explique sans doute la diminution de la part des contrats internationaux alloués aux firmes américaines au cours des vingt dernières années. Dans ce dernier cas, la force du dollar américain a également nui.

*Les nouvelles façons
de faire tardent
à s'implanter*

Un autre facteur a nui aux firmes canadiennes de génie-conseil ; c'est leur retard par rapport aux firmes étrangères dans l'adoption de nouvelles façons de faire comme la conception-construction (*design-build*) ou le *Design-Build-Operate-Transfer* (DBOT), pratiques sur lesquelles nous reviendrons au chapitre 2. Ce retard pourrait être lié à la problématique de l'accès au financement dans le cas des projets du type DBOT, plus risqués que dans la conception simple ou la conception-construction.

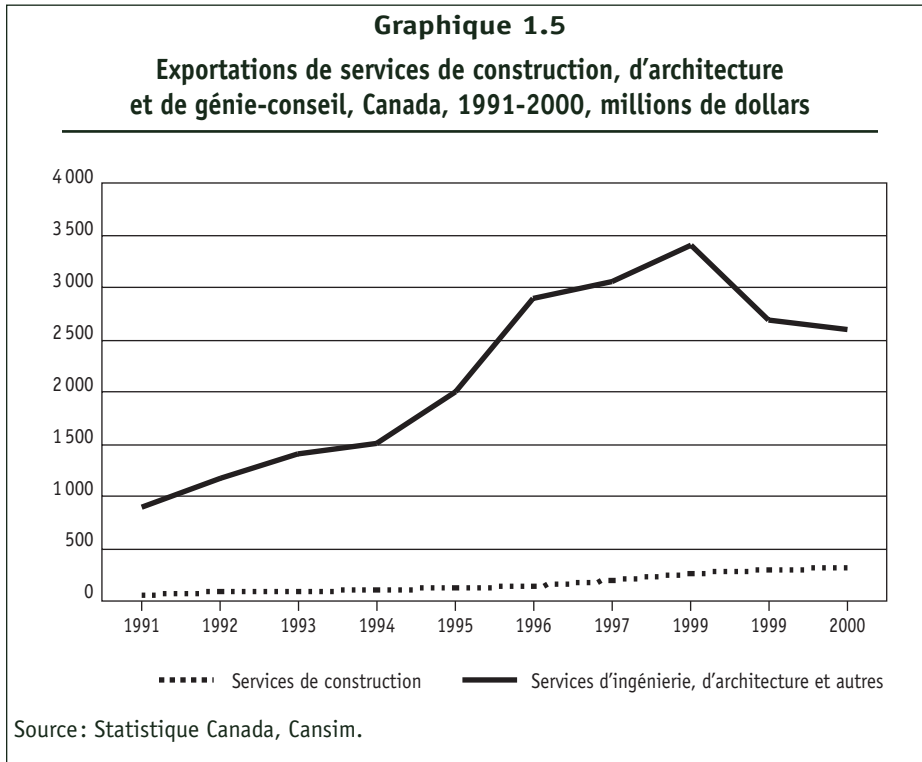
Il est un peu inquiétant de constater que SNC-Lavalin a régressé en termes relatifs par rapport aux autres firmes de conception. En effet en 1987, Lavalin était la première firme mondiale sur le plan des exportations de services de génie-conseil, alors que SNC occupait la septième position. En dépit de la fusion des deux firmes, SNC-Lavalin n'était qu'en quatrième position en 2001. Malgré tout, une quatrième place demeure plus qu'enviable et le Québec devrait miser sur cette force pour faire progresser l'industrie québécoise et canadienne de la construction.

Il convient toutefois de noter que les données des tableaux précédents surestiment les échanges entre les différents pays. En effet, les données tirées de l'*Engineering News Record* comptabilisent dans le pays d'origine d'une firme tous les contrats obtenus dans un pays autre. Ainsi, les contrats obtenus aux États-Unis par Skanska, par exemple, grâce aux activités des filiales qu'elle y possède sont attribués à la Suède. Dans cet exemple, il est possible que les exportations suédoises vers les États-Unis aient été faibles ou même inexistantes. Les données de l'ENR relatives aux contrats internationaux demeurent tout de même pertinentes. En effet, plus une firme réalise des projets à l'étranger, plus elle développe une expertise qu'elle peut appliquer aux projets réalisés à l'intérieur de son pays et donc augmenter sa capacité technologique. De plus, il est reconnu que, dans certains cas, ces firmes peuvent servir de locomotives aux fournisseurs de matériaux et d'équipement du pays pour pénétrer les marchés étrangers.

Néanmoins, la part des échanges internationaux dans les expéditions totales de l'industrie demeure très faible, à l'exception de certains matériaux (le bois d'œuvre étant un bon exemple) ainsi que des services de conception. En effet, les

gouvernements de la plupart des pays exigent que la firme qui a obtenu le contrat de conception et de gestion du projet recoure le plus possible à une main-d'œuvre locale (sauf dans le cas d'ouvriers très spécialisés) ainsi qu'à des matériaux locaux. C'est avant tout une expertise en conception et en gestion de projets qui est exportée.

En 2000, le Canada n'a exporté que pour 317 millions de services de construction contre 2 605 millions de services d'architecture, de génie-conseil et autres services connexes (graphique 1.5).



1.5 Description de l'industrie de la construction au Québec

Comme le rapporte le tableau 1.7, une caractéristique importante de cette industrie au Québec est qu'elle est fragmentée en une multitude de petites entreprises. Sur les 18 445 entreprises actives au Québec en 1999, seulement 5 firmes employaient plus de 200 employés et seulement 33, plus de 100 employés n'effectuant que 9,8 % des heures travaillées totales. Cette caractéristique s'applique à tous les pays du monde. Cependant, la fragmentation est encore plus poussée au Canada, pays qui ne dispose pratiquement d'aucune grande firme. Elle se répercute sérieusement sur la capacité d'innover de cette industrie.

Fragmentation de l'industrie en une multitude de petites entreprises

Tableau 1.7
Répartition des employeurs et des heures travaillées dans l'industrie de la construction au Québec, 1999

Nombre de salariés	Nombre d'employeurs	%	Heures travaillées (000)	%
1-5	15 948	86,5	23 519	29,4
6-10	1 382	7,5	12 904	16,1
11-25	778	4,2	16 516	20,6
26-50	240	1,3	12 445	15,5
51-100	64	0,3	6 815	8,5
101-200	28	0,2	6 017	7,5
201-500	5	0,03	1 846	2,3
Total	18 445	100	80 062	100

Source : Commission de la construction du Québec, *Analyse de l'industrie de la construction au Québec, 1999*.

L'influence des firmes de génie-conseil

Il faut souligner que des pays comme le Japon, les États-Unis et la France possèdent de très grandes firmes de construction qui sont directement ou indirectement liées à des firmes de génie-conseil. Ces firmes disposent de capacités financières très élevées et peuvent de ce fait engager des efforts en recherche ou soutenir pour leurs propres fins la recherche dans les universités ou dans différentes organisations sans but lucratif. À ce titre, le Québec possède lui aussi une très grande firme de génie-conseil, SNC-Lavalin, ainsi que plusieurs autres firmes de génie-conseil de taille moyenne⁷. Le point qu'on veut avancer ici est que ces firmes de génie-conseil peuvent avoir une influence importante sur l'innovation dans l'industrie de la construction, même si elles ne sont pas classées officiellement comme faisant partie de l'univers de la construction.

Le tableau 1.8 fournit les dépenses d'immobilisations totales en construction au Québec. Le secteur résidentiel est de loin le plus important, puisqu'il représentait près de 44 % des travaux en 2000, alors que la part des bâtiments non résidentiels était de plus de 26 % et celle des travaux de génie, de près de 30 %.

7. Il faut noter que les firmes de génie-conseil n'apparaissent pas au tableau 1.7, parce qu'elles ne font pas partie du secteur de la construction selon les données de la Commission de la construction du Québec (CCQ), tout comme elles n'appartiennent pas au secteur de la construction selon la classification industrielle de Statistique Canada.

Tableau 1.8
Dépenses d'immobilisations totales en construction au Québec

	1998		1999		2000	
	M\$	%	M\$	%	M\$	%
Bâtiments résidentiels	7 627	44,9	8 145	48,3	7 666	43,9
Bâtiments non résidentiels	4 284	25,2	4 519	26,8	4 629	26,5
– industriels	727		1 049			
– commerciaux	1 620		1 723			
– institutionnels	1 176		1 054			
Autres	761		693			
Travaux de génie	5 076	29,9	4 201	24,9	5 163	29,6
Total	16 987	100	16 864	100	17 458	100

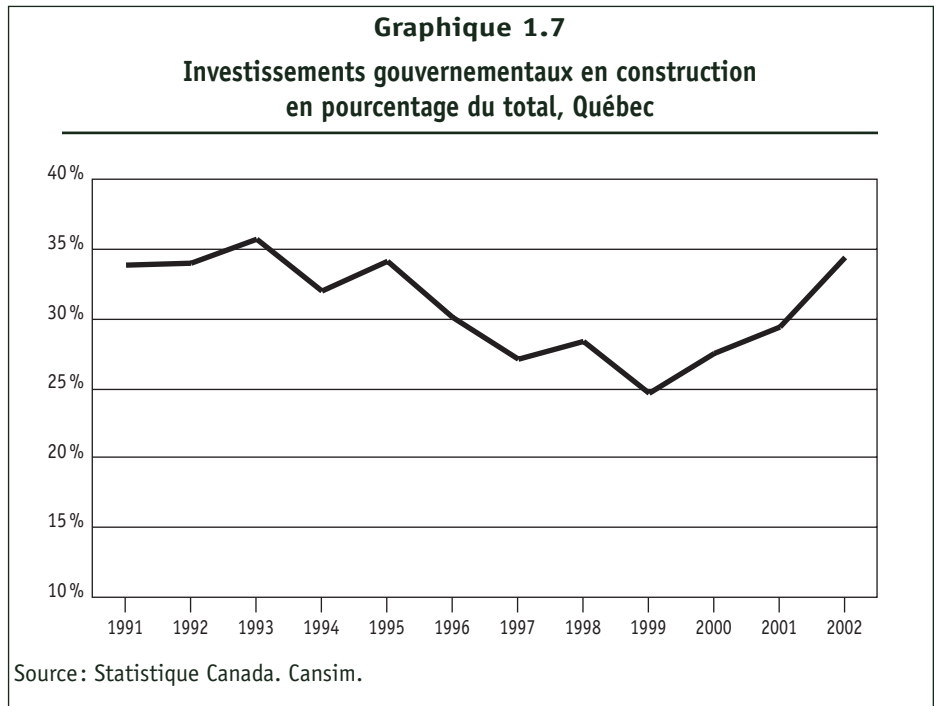
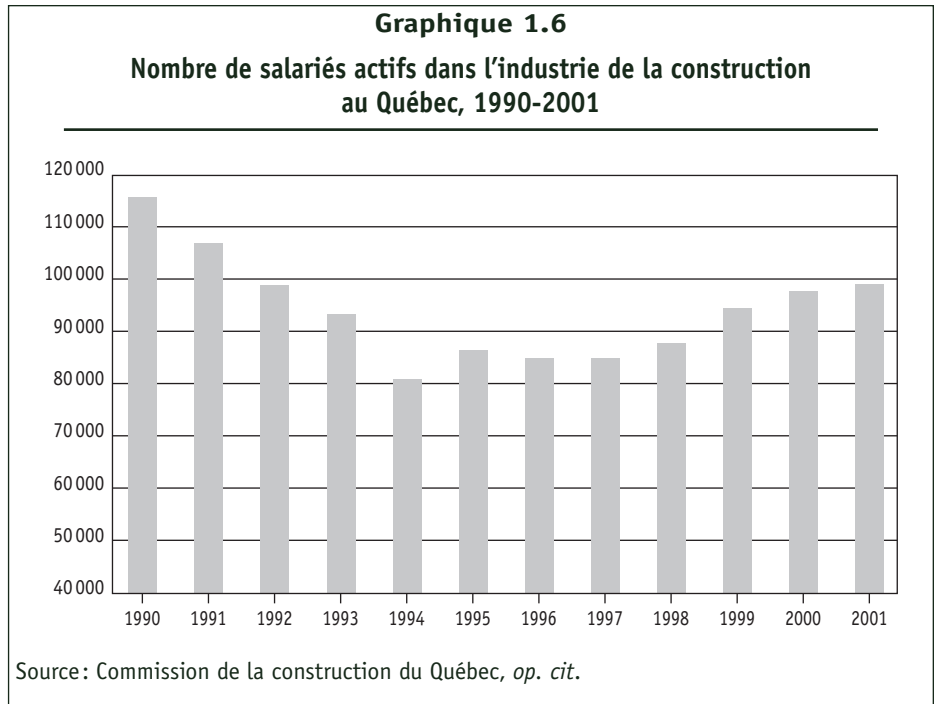
Source : Statistique Canada. Cansim.

À l'image des investissements très cycliques dans l'industrie, le nombre de salariés actifs dans la construction fluctue beaucoup au fil des ans (graphique 1.6). Selon les données de la CCQ, le nombre de salariés a chuté, passant de près de 116 000 en 1990 à moins de 81 000 en 1994, pour augmenter graduellement par la suite et atteindre un peu plus de 99 000 en 2001. Ce nombre est inférieur au chiffre de 140 000 obtenu par l'Enquête sur la population active de Statistique Canada (voir graphique 1.1). L'écart s'explique par le fait que les données du graphique 1.6 portent sur les travailleurs assujettis au Décret sur la construction, qui exclut certains travaux de son champ d'application.

Le secteur de la rénovation résidentielle est également caractérisé par la présence substantielle du travail au noir. La CCQ en estime la valeur annuelle à 900 millions de dollars.

Dernière caractéristique, les gouvernements constituent des clients importants de cette industrie, comme en témoigne le graphique 1.7. En 2002, les immobilisations en construction des gouvernements devraient atteindre au Québec près de 6,6 milliards de dollars sur un total de 19,1 milliards, soit une proportion de plus de 34 %. D'ailleurs, lorsqu'on exclut la seconde moitié des années 1990, les investissements gouvernementaux en construction représentent entre 30 % à 35 % du total.

*Les gouvernements,
des clients
importants*



En fait, à l'exception des gouvernements, les clients réguliers sont rares en construction. Un particulier ne commande qu'une seule maison dans sa vie, alors que la plupart des entreprises ne font réaliser un nouveau bâtiment que de façon très sporadique. Seuls les travaux de réparation et d'entretien transforment les entreprises en clients réguliers. Quelques promoteurs immobiliers ont une véritable expertise en construction parce qu'ils passent et supervisent régulièrement des commandes faites à des entrepreneurs généraux et à des firmes d'ingénieurs-conseils ou d'architectes. Par contre, le gouvernement est un demandeur régulier et important de structures neuves ainsi que de travaux de réparation. C'est le gouvernement du Québec, avec les réseaux de l'éducation et de la santé, qui est le principal demandeur de travaux de construction. Il est suivi des municipalités, alors que le gouvernement fédéral joue un rôle mineur.

Le gouvernement du Québec et ses réseaux de l'éducation et de la santé occupent un bonne part de la demande

Tableau 1.9
Investissements en capital fixe¹ des gouvernements au Québec

	1999		2000		2001	
	(M\$)	%	(M\$)	%	(M\$)	%
Fédéral	669	12,8	708	13,3	611	10,9
Québec	2 933	56,0	3 091	58,0	3 457	61,9
Éducation ²	867		1 038		1 054	
Santé	654		789		1 145	
Autres	1 412		1 264		1 258	
Municipalités	1 633	31,1	1 529	28,7	1 521	27,2
Total	5 235	100	5 328	100	5 589	100

1. Inclut les achats de machinerie et d'équipement.

2. Inclut les commissions scolaires.

Source: Institut de la statistique du Québec, *Comptes économiques des revenus et dépenses du Québec*, édition 2002.

1.6 Deux tendances à long terme

La présente section soumet, sans prétention d'exhaustivité, deux tendances lourdes qui sont décelées pour les années à venir.

La première tendance est liée à la démographie. En effet, le vieillissement de la population sera tel que le nombre de mises en chantier devrait rester faible au cours des vingt à trente prochaines années.

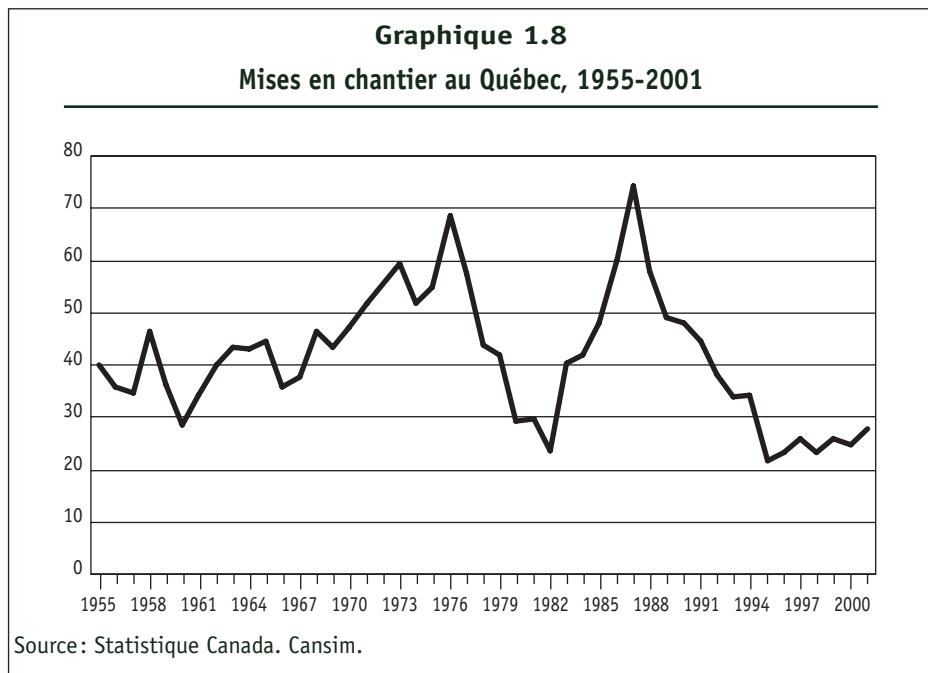
Depuis 1995, le nombre de mises en chantier au Québec fluctue aux environs de 25 000, ce qui est même inférieur à la période 1955-1962, lorsque le nombre

Le nombre de mises en chantiers lié au vieillissement de la population

moyen annuel de mises en chantier était de 39 000 (graphique 1.8). La pénurie de logements actuelle sévère dans les grands centres urbains du Québec va certes stimuler à court terme les mises en chantier, mais il s'agit là d'un phénomène temporaire. Comme le secteur résidentiel engendre à lui seul près de la moitié de l'activité totale, la diminution du nombre de mises en chantier à moyen et long terme aura des répercussions majeures sur l'industrie.

La rénovation résidentielle en croissance

La baisse des constructions neuves signifie que le stock de maisons et de logements vieillira, stimulant d'autant le secteur de la rénovation résidentielle. Or, ce dernier se prête moins bien aux innovations, et ce, pour deux raisons. Premièrement, il est beaucoup plus facile d'innover pour une construction neuve qu'à l'occasion d'une rénovation. Deuxièmement, dans ce domaine, les propriétaires occupants et les travailleurs au noir réalisent une partie importante des travaux. Leurs compétences sont sans doute très variables et ils auront tendance à privilégier des matériaux et des façons de faire traditionnelles bien éprouvées.

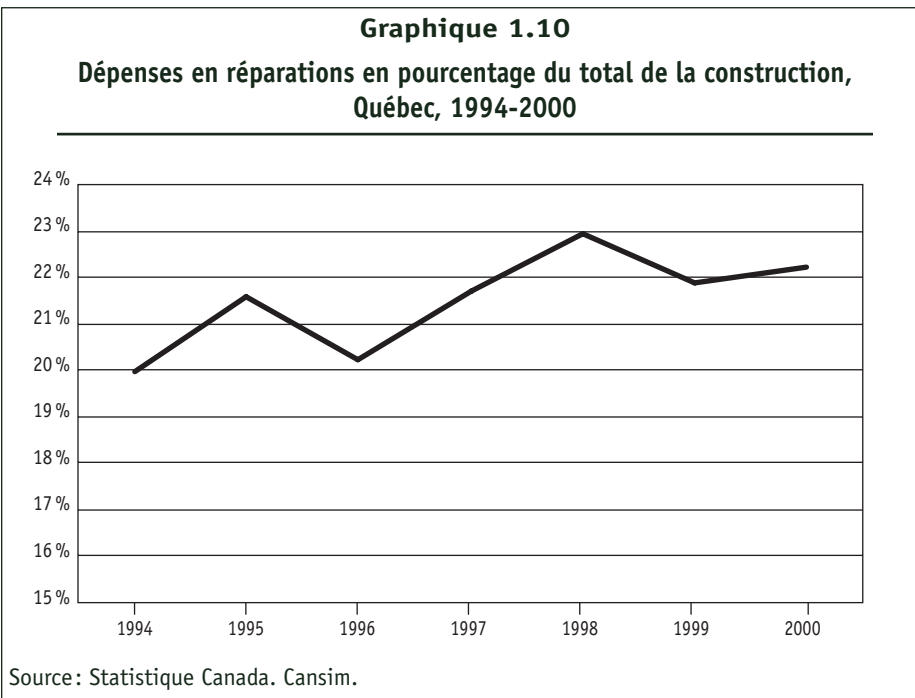
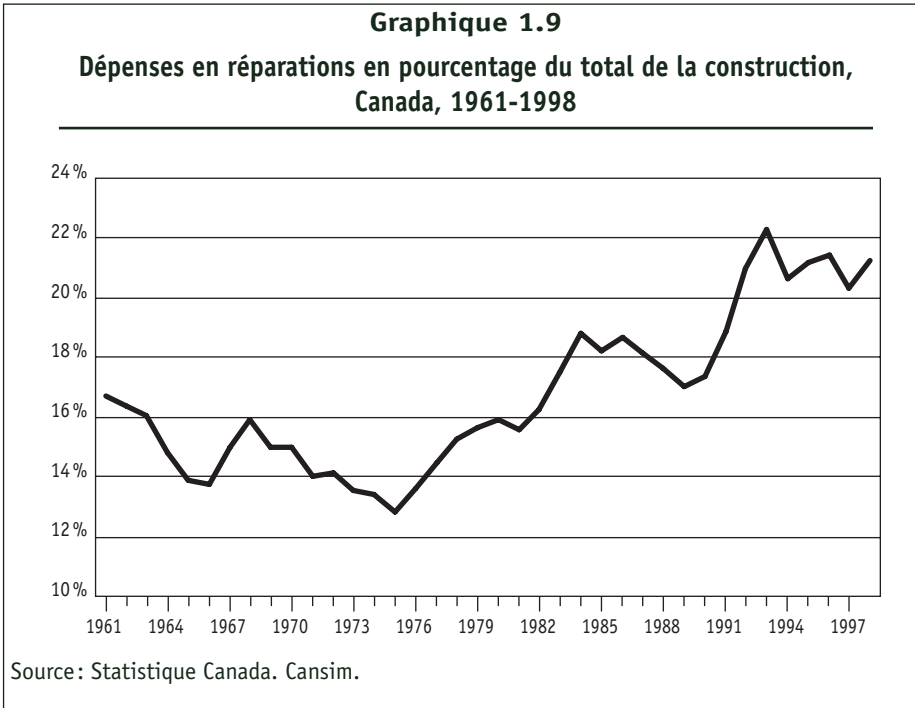


On assistera également à un changement dans la composition du stock de logements, dont un déplacement vers des résidences pour personnes âgées comprenant de multiples unités d'habitations gérées par des propriétaires spécialisés. Il sera sans doute plus facile d'y introduire des innovations, d'autant plus que les besoins des personnes âgées sont particuliers.

Le vieillissement progressif des bâtiments non résidentiels et des infrastructures publiques appellera aussi des travaux de rénovation substantiels. Notons à cet égard que le Québec dispose d'un organisme, le Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (CERIU), dont le mandat porte précisément sur la réhabilitation des infrastructures urbaines. L'Institut de recherche sur la construction (IRC) du CNRC poursuit également des travaux de recherche dans ce domaine.

La problématique des rénovations posera un énorme défi au cours des années à venir, en particulier sur le plan de l'innovation. Les dépenses en réparations constituent actuellement plus de 21 % des dépenses totales en construction au Canada et plus de 22 % au Québec (graphiques 1.9 et 1.10).

*La rénovation,
un défi sur le plan
de l'innovation*



1.7 Nature et bref historique des innovations dans le secteur de la construction

Jusqu'à tout récemment, dans l'ensemble des pays industrialisés, ce sont principalement les entreprises fournisseurs de matériaux et de composants qui se sont engagées dans des activités de R-D. Très peu de recherches ont été faites en vue d'améliorer les processus de la construction⁸.

Source des innovations

Un relevé réalisé par deux revues professionnelles hollandaises et portant sur l'industrie de la construction a permis de recenser 290 innovations réparties sur près de cinquante ans. La majeure partie des innovations répertoriées ont leur origine chez des fournisseurs de matériaux et de composants (tableau 1.10). Les auteurs pensent que leurs conclusions, tirées à partir de données sur les Pays-Bas, pourraient s'appliquer aux autres pays européens, voire à l'ensemble des pays industrialisés.

Tableau 1.10
Origine des innovations en pourcentage

Entrepreneur général	7,5
Fournisseur	72,4
Architecte	0,9
Consultant	11,4
Divers	7,9
Total	100,0

Source: Frens Pries et Felix Janszen, «Innovation in the construction industry: The dominant role of the environment», *Construction Management and Economics*, 13 (1995), p. 43-51.

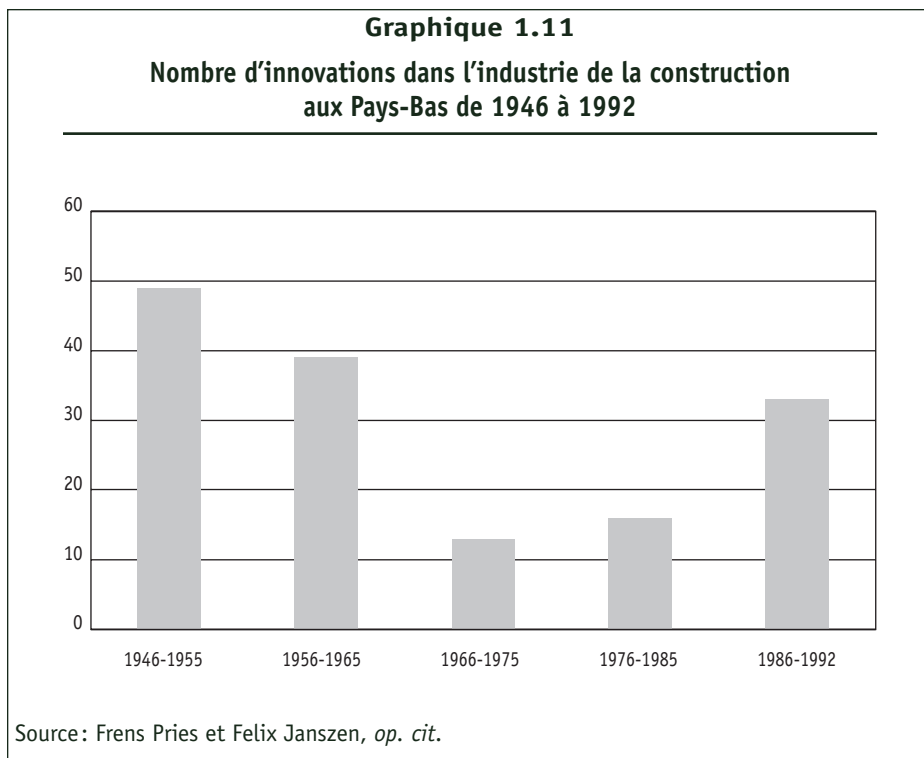
Évolution temporelle des innovations

De plus, l'étude montre que l'industrie a intégré deux fois plus d'innovations entre 1946 et 1965 qu'entre 1966 et 1985 (graphique 1.11). On assiste toutefois à une intensification du nombre d'innovations au cours de la période 1986 à 1992. Les résultats sont étonnants: alors que l'innovation s'intensifie dans l'ensemble des secteurs industriels au cours des trente dernières années, l'industrie de la construction aurait connu un phénomène inverse, du moins jusqu'en 1986.

Les nouveaux matériaux: une source d'innovations

C'est donc avant tout l'introduction de nouveaux matériaux qui a permis au secteur de la construction d'innover au cours des cent dernières années. Ces nouveaux matériaux furent avant tout conçus et fabriqués par de grandes firmes manufacturières qui disposaient de bonnes capacités de R-D. Dans certains cas,

8. Voir David M. Gann, «Should governments fund construction research?», *Building Research and Information*, 25(5), 1997.



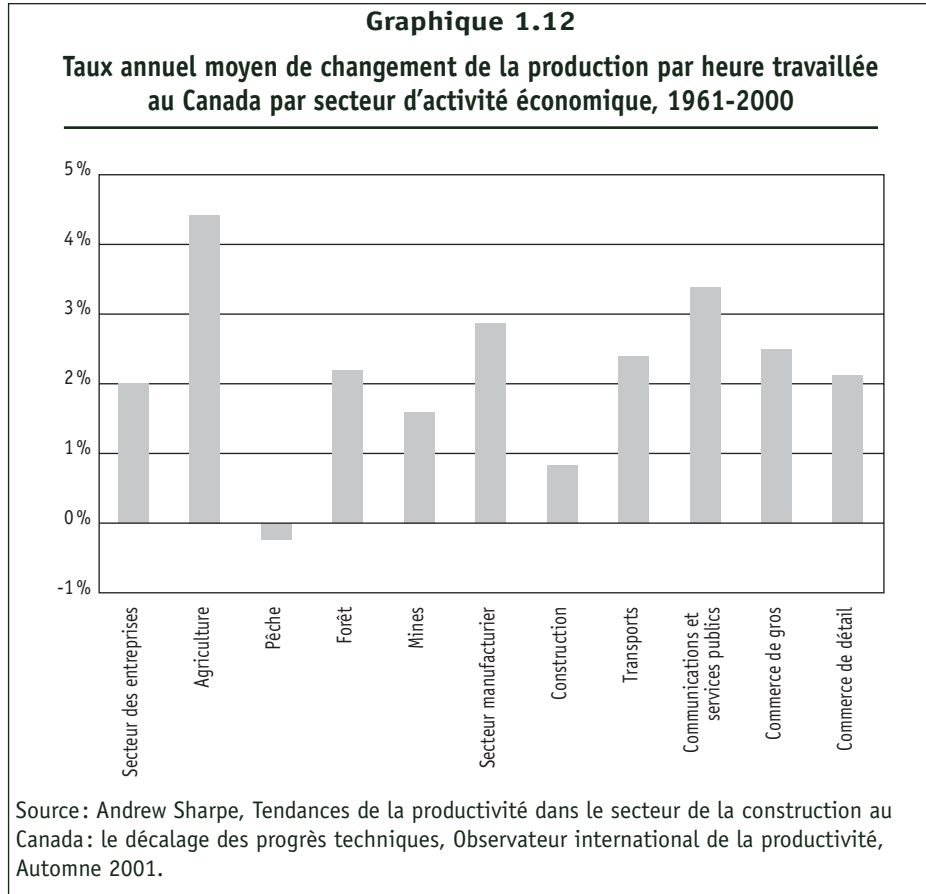
ils ont permis de réduire les besoins en main-d'œuvre en modifiant radicalement le processus de construction. Pensons ici aux panneaux de placoplâtre, qui ont de beaucoup réduit le travail des plâtriers. Certaines innovations se sont avérées très importantes, par exemple l'invention du béton armé au début du siècle, ce qui a favorisé la construction d'édifices en hauteur et a permis de remplacer l'acier et le bois dans la construction de plusieurs ponts et barrages.

Une autre innovation a été l'introduction de composants fabriqués en usine plutôt que sur le chantier. Mentionnons les portes et fenêtres, les fermes de toit, les armoires de cuisine et de salle de bain, les douches, etc., autant de produits qui ont permis d'augmenter la productivité de l'industrie de la construction. De nouveaux matériaux, conçus pour être plus facilement assemblés, ont également fait leur apparition. Pensons ici aux pièces de plomberie en PVC qui demandent à être simplement collées plutôt que soudées et qui sont plus légères et plus maniables que, par exemple, les lourds tuyaux de fonte précédemment utilisés.

L'ensemble de ces innovations a permis à l'industrie de la construction de connaître une certaine croissance de sa productivité. Cependant, cette croissance demeure faible par rapport aux autres secteurs de production de biens, tels que l'agriculture, les secteurs manufacturier ou minier (graphique 1.12); elle montre clairement que le nombre de ces innovations fut nettement insuffisant.

*Intégration
des composants
fabriqués en usine*

*Une production
faible par rapport
aux autres secteurs*



Le rythme des innovations a ralenti depuis plus de 20 ans

L'examen au tableau 1.11 des grandes innovations dans le secteur de la construction résidentielle au Canada entre 1945 et 1985 confirme ce qui a été observé aux Pays-Bas, à savoir que le rythme des innovations a beaucoup ralenti au cours des vingt à vingt-cinq dernières années.

On ne dispose pas de données semblables pour le secteur de la construction non résidentielle, mais certains renseignements recueillis au cours de la présente recherche font croire que la situation y est semblable. En effet, l'introduction des grues sur les chantiers, le recours à de la machinerie lourde (pelles mécaniques, bulldozers, etc.), le recours au béton armé, l'introduction des ascenseurs, des systèmes de climatisation, etc., datent d'avant 1970. Depuis cette date, si l'on fait exception du recours aux TI, peu d'innovations susceptibles d'avoir modifié de manière radicale le processus de construction sont relevées.

Tableau 1.11
Changements à l'essentiel du processus de construction domiciliaire au Canada, du milieu des années 1940 au milieu des années 1980

Processus	Milieu des années 1940	Milieu des années 1960	Milieu des années 1980
Excavation	Bélier mécanique	Rétrocaveuse	Aucun changement
Sous-sol	Blocs de béton et béton mélangé sur chantier utilisés avec coffrages construits sur le lieu du travail; planches réutilisées pour revêtement des murs et du toit	Béton mélangé dans des bétonnières mobiles utilisé avec coffrages préfabriqués	Peu de changements
Ossature murale	Ossature à plate-forme; quelques procédés de montage stationnaire; faible utilisation d'outils mécaniques et faible recours à des sous-traitants à la pièce	Poteaux muraux pré-coupés, ligne de montage stationnaire du type à relevage; un certain ordonnancement ou travail confié aux sous-traitants à la pièce	Peu de changements
Toit	Préparé et monté par ouvriers spécialisés	Généralisation de l'utilisation de fermes de toit préfabriquées	Peu de changements
Revêtement des murs et des toits	Planches	Panneaux de contreplaqué	Panneaux de copeaux
Plomberie et chauffage	Installation et réglage sur place	Cheminées préfabriquées; certains sous-ensembles de gaines et de conduits	Tuyauteries tout plastique; cheminées et conduits de fumée préfabriqués
Intérieurs	Plâtre posé par voie humide, durci et peint au pinceau	Murs secs peints au rouleau	Peu de changements
Fenêtres, armoires, portes	Fabrication sur place	Fenêtres, armoires et dessus de comptoirs préfabriqués	Introduction des portes pré-pendues et des éléments d'escalier préfabriqués
Parement	Planches à gorge, brique et stuc	Arrivée du panneau dur et de l'aluminium préenduits	Arrivée du vinyle

Source: Société canadienne d'hypothèques et de logement, *L'évolution de la production de logements entre 1946 et 1986*, document de travail préparé par Clayton Research Associates et Scanada Consultants, 1989, repris dans Andrew Sharpe, *Tendances de la productivité dans le secteur de la construction au Canada*, op. cit.

*Une solution
proposée :
la préfabrication*

La préfabrication est l'un des moyens proposés pour améliorer la productivité de la construction. Plusieurs tentatives en ce sens ont été faites un peu partout dans le monde au cours du 20^e siècle. On espérait que la fabrication d'un maximum de composants en usine entraînerait des économies d'échelle et permettrait d'optimiser les conditions de travail sur un chantier. Une autre avenue s'est ouverte depuis une vingtaine d'années, celle des technologies de l'information (TI). Cependant, au cours des dix dernières années, l'attention s'est plutôt tournée vers l'organisation même du travail. Et, depuis peu, le concept de construction durable tend à s'imposer comme cadre de référence pour le développement futur de l'industrie.

Une revue de la littérature a permis de dégager quatre grandes tendances dans le secteur du bâtiment qui se font jour un peu partout dans le monde. Les quatre chapitres qui suivent seront donc consacrés à l'analyse de chacune d'elles, à savoir :

- l'organisation du travail ;
- l'émergence du concept de construction durable ;
- l'industrialisation de la construction ;
- l'application des technologies de l'information.

1.8 Constats

- Bien que son poids relatif dans l'économie québécoise ait diminué de manière substantielle au cours des quarante dernières années, l'industrie de la construction demeure un secteur d'activité important. Elle emploie un grand nombre de travailleurs et constitue un débouché majeur pour le secteur manufacturier, les services de génie-conseil et ceux d'architecture. De plus, pratiquement tous les matériaux de construction et les services-conseils sont produits sur le marché intérieur.
- C'est une industrie très cyclique car sensible aux variations des taux d'intérêt et de l'activité économique en général. L'emploi et le chiffre d'affaires des firmes sont par conséquent instables. Ce facteur freine l'innovation.
- L'industrie est très fragmentée et dominée par les petites firmes, surtout dans le secteur résidentiel. Les entreprises de taille moyenne et les grandes entreprises sont rares. Or, dans la plupart des secteurs d'activité économique, la corrélation est forte entre la taille des entreprises et les ressources consacrées à l'innovation. Si l'on exclut les biotechnologies et l'informatique, les très petites firmes éprouvent de grandes difficultés à innover. C'est là un handicap majeur propre à l'industrie de la construction.
- L'absence de grandes firmes intégrées en architecture-génie-conseil-construction pénalise le Québec sur les marchés internationaux et diminue la capacité des firmes à innover.

- Le secteur résidentiel bénéficie actuellement de près de la moitié des investissements totaux en construction au Québec. Outre sa fragmentation, un autre facteur freine l'innovation : une part importante des travaux de rénovation y sont effectués par des travailleurs au noir ou par le propriétaire.
- Les trois paliers de gouvernement sont à l'origine de près du tiers des travaux effectués au Québec. De plus, ils possèdent une expertise suffisante pour juger de la qualité des travaux et surtout des solutions innovatrices qui pourraient être adoptées. Le gouvernement du Québec est le premier client de l'industrie et peut donc agir comme levier pour susciter l'innovation.
- En raison notamment du vieillissement de la population, la proportion des dépenses totales en construction consacrées aux réparations et aux rénovations continuera de croître. Or, il est beaucoup plus facile d'innover dans le cas d'une construction neuve. La rénovation s'effectue souvent dans un contexte particulier et dans des conditions contraignantes. Cependant, le potentiel d'innovations à réaliser est immense. Il s'agit là d'un domaine de recherche encore largement sous-exploité et dont la problématique reste à explorer.
- La productivité dans l'industrie de la construction croît très lentement depuis une vingtaine d'années, plus lentement que dans tous les autres secteurs économiques à l'exception de celui des pêches. Ce fait plaide en faveur d'une intensification des efforts d'innovation.

2 Première tendance mondiale: l'innovation organisationnelle

2.1 Les obstacles à l'innovation¹

Les nombreux obstacles à l'innovation dans l'industrie de la construction ont été assez bien cernés au cours des dernières années². Mentionnons le risque, la fragmentation de l'industrie, le découpage du processus de construction entre plusieurs firmes spécialisées qui interagissent peu, le fait que la majorité des acheteurs soient peu exigeants sur le plan technologique, le partage inégal des avantages et des risques et enfin, parfois, la réglementation.

Le risque lié à un projet est très grand. Il est associé au coût élevé et à la longévité d'un bâtiment. Une maison représente souvent le plus gros investissement qu'aura à effectuer une personne. Les édifices comme les tours à bureaux, les centres commerciaux, une autoroute, un barrage, etc., nécessitent également des investissements majeurs. De plus, les problèmes liés à un dysfonctionnement d'un nouveau matériau ou d'une nouvelle technologie peuvent prendre plusieurs années avant de se manifester et imposer alors des dépenses considérables. La mousse isolante d'urée-formaldéhyde (MIUF) peut ici servir d'exemple. Le mauvais fonctionnement d'un seul matériau peut entraîner des conséquences graves pour l'ensemble de la structure. L'installation défectueuse d'un simple pare-vapeur peut forcer la réfection ultérieure de la presque totalité des murs intérieurs et de l'isolation d'un édifice. Les clients et les entrepreneurs ont par conséquent tendance à être conservateurs et à préférer nettement ne pas recourir à une nouvelle technologie avant que celle-ci ait fait entièrement ses preuves et qu'elle soit reconnue par l'ensemble des acteurs comme étant efficace et sûre.

Risque élevé

La fragmentation de l'industrie a déjà été identifiée comme un facteur majeur qui nuit à l'innovation. En effet, une petite firme ne dispose pas des ressources techniques, scientifiques et financières nécessaires pour effectuer de la recherche et de la veille, ni pour évaluer les innovations qui lui sont proposées. De plus, la

Fragmentation de l'industrie

1. Les informations contenues dans ce chapitre proviennent notamment de Lauri Koskela, *An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction*, VTT Technical Research Center of Finland, 2000, disponible dans la section Publications à l'adresse web <http://www.leanconstruction.org>, ainsi que de David M. Gann, *Building Innovation, Complex Constructs in a Changing World*, Thomas Telford Books, 2000.

2. Voir notamment Industrie Canada, « Cadres de compétitivité sectorielle », *La construction. Partie 1, Vue d'ensemble et perspectives*, Graham Winch, « Zephyrs of creative destruction: understanding the management of innovation in construction », *Building Research and Information*, 26(4) (1998), p. 268-279 ainsi que T. Michael Toole, « Uncertainty and home builders' adoption of technological innovations », *Journal of Construction Engineering and Management*, juillet-août 1998.

capacité des petites entreprises à intégrer des technologies complexes est très limitée. Il en découle que certaines innovations mettront beaucoup de temps à se diffuser. De plus, comme les différents sous-traitants sont le plus souvent choisis uniquement en fonction de la soumission la plus basse, les marges de manœuvre financière et de profit sont très faibles. Cela limite grandement leur capacité à se doter des ressources techniques indispensables pour évaluer et intégrer les nouvelles technologies ou pour effectuer de la recherche.

Manque de personnel qualifié

Dans la gestion de la technologie et de l'innovation, les firmes de conception ainsi que les entrepreneurs généraux jouent un rôle central. En effet, ce sont eux qui intègrent les différents matériaux et composants et qui voient à coordonner le travail des différents sous-traitants. Le problème, c'est que très peu de firmes de construction disposent d'une masse critique de personnel capable d'effectuer un travail systématique de développement de la technologie. Lorsqu'une firme intègre les activités de conception (ingénieurs et architectes) aux activités de construction, ce problème est en partie résolu, mais on a vu que ce qui distingue le Canada des autres pays est cette absence de grandes firmes intégrées.

Une transmission du savoir tacite difficile

Le fait que de nombreux acteurs participent aux différentes étapes du processus constitue un autre frein à l'innovation. En effet, la construction est essentiellement un projet qui réunit plusieurs entreprises sur une base temporaire. Pour être mises en œuvre, les innovations doivent donc être comprises et maîtrisées par plus d'un acteur (plus d'une firme donc). La capacité d'influencer les autres acteurs et de les convaincre du bien-fondé de l'innovation dépend donc de l'aptitude de la firme en cette matière. De plus, celui qui veut innover doit supporter des coûts de coordination. Souvent, les innovations peuvent être de nature incrémentale, c'est-à-dire qu'elles vont surgir sur le site même de la construction en réponse à des problèmes imprévus. Ce sont souvent les petites firmes engagées dans le projet comme sous-traitants qui peuvent découvrir de nouvelles façons de faire. Or, ces firmes n'ont aucun intérêt financier à partager leurs découvertes, de sorte que ces innovations se perdent à la fin du projet. Il en est de même pour ce qui est des innovations mises en œuvre par l'entrepreneur général. Comme celui-ci ne transmettra pas ses nouvelles façons de faire aux firmes d'architectes-ingénieurs, ces dernières ne pourront les appliquer aux projets subséquents. Il s'ensuit que la diffusion des innovations, surtout de type organisationnel, se fait difficilement.

Par ailleurs, la culture d'organisation apprenante n'est pas encore vraiment bien implantée dans ces firmes³. En effet, il semble que souvent la connaissance des innovations mises en place au cours des différents projets n'est maîtrisée que par un seul individu, la personne responsable du chantier par exemple. Lorsque cette personne quitte la firme, ses connaissances deviennent perdues pour l'entreprise. Autrement dit, la plupart des firmes du secteur de la construction

3. Voir G.K. Kululanga, FT. Edum-Fotwe et R. McCaffer, « Measuring construction contractors organisational learning », *Building Research and Information*, 29(1) (2001), pour un bon exposé des caractéristiques d'une organisation apprenante.

n'ont pas de mémoire. Les différents chantiers peuvent être le terrain de multiples innovations, mais celles-ci se perdent, de sorte que chaque firme doit continuellement réinventer la roue. L'un des problèmes majeurs auquel sont confrontées les firmes du secteur de la construction est que plusieurs innovations qui surgissent sur les chantiers (on ne parle pas ici des matériaux) font appel à des connaissances tacites qui sont difficilement codifiables. Or, rien n'est plus difficile à transmettre que les connaissances tacites. La question du savoir tacite et de sa transmission entre les individus d'une même organisation ou d'organisations différentes est d'ailleurs devenue un sujet majeur de recherche sur lequel se penchent actuellement plusieurs spécialistes de l'innovation⁴.

Il est reconnu que dans beaucoup de cas des clients exigeants peuvent constituer une source importante d'innovations⁵. Or, la plupart des clients du secteur de la construction sont peu exigeants sur le plan technologique. Cela est évident dans le cas du secteur résidentiel, mais également pour un bon nombre de clients du secteur non résidentiel, pour la simple raison que ces personnes traitent rarement avec les acteurs de la construction. Ces clients ne poseront donc aucun défi technologique aux architectes, aux ingénieurs et aux entrepreneurs généraux. Tout au contraire, comme on l'a mentionné précédemment, ces clients réfractaires aux risques seront plus à l'aise avec des conceptions et des méthodes de construction traditionnelles. Seuls le gouvernement ou de grandes firmes qui disposent d'un personnel technique en mesure d'évaluer et d'apprécier de nouvelles techniques et façons de faire et qui sont dotés en outre d'une solide capacité financière pour absorber les coûts d'éventuels échecs peuvent jouer ce rôle de stimulant de l'innovation dans l'industrie de la construction. Et encore, cette capacité technique peut varier beaucoup d'un gouvernement à l'autre et même d'un pays à l'autre. Ainsi, les autorités locales disposent d'une capacité technique moindre que les gouvernements supérieurs. Et il semble qu'à cet égard la capacité du gouvernement britannique soit plus faible que celle de la France, de l'Allemagne et des États-Unis⁶.

Des clients peu exigeants sur le plan technologique

Le partage inégal des avantages et des risques entre les différents acteurs nuit à l'innovation. En effet, les architectes et les ingénieurs encourent un risque lorsqu'ils introduisent de nouveaux matériaux, de nouveaux systèmes et de nouvelles façons de faire. Cependant, la réduction des coûts qui en résulte en cas de succès profitera le plus souvent entièrement au client ou, encore, elle sera retenue par les fabricants de nouveaux matériaux. Les bénéfices pour les architectes et les ingénieurs sont minces. En cas d'échec, les conséquences peuvent au contraire être désastreuses pour eux: par exemple, leur réputation sera entachée et ils risquent même d'être poursuivis. Il est clair qu'un tel système asymétrique d'incitations va pousser les architectes et les ingénieurs à privilégier

4. Pour une exposition de cette problématique, voir Thomas H. Davenport et Laurence Prusak, *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know*, Harvard Business School Press, 1998-2000, ainsi que OCDE, *Gestion du savoir et connaissances, Enseignement et compétences*, 2000.

5. Voir E. Von Hippel, *The Sources of Innovation*, Oxford University Press, 1988.

6. Voir Graham Winch, « Zephyrs of creative destruction », *op. cit.*

les solutions et le design traditionnels. Par contre, lorsque toutes les firmes sont en mesure de bénéficier d'une réduction de coûts résultant d'une innovation (par exemple l'utilisation de nouveaux logiciels dans la conception ou l'emploi de nouveaux outils et de nouvelles machineries), ce type d'innovation se diffuse plus rapidement parmi les acteurs.

La réglementation

Enfin, la réglementation peut constituer à l'occasion un frein à la diffusion des innovations. En effet, par le passé, la réglementation a été conçue dans plusieurs pays sous la forme de prescriptions plutôt que comme un guide de performance. Dans le cas d'une réglementation prescriptive, les acteurs de la construction auront tendance à se conformer aux exigences des codes du bâtiment du pays et à ne pas en déroger. Même dans le cas où un code accepte des équivalences, l'interprétation rigoureuse qu'en font certains inspecteurs locaux va nuire aux nouveaux matériaux et aux nouvelles façons de faire. La nouvelle tendance à fixer des codes qui visent la performance au lieu d'être uniquement contraignants permettra sans doute de contourner ces difficultés.

Des obstacles nombreux et considérables

En résumé, les obstacles à l'innovation dans l'industrie de la construction sont nombreux et considérables. Ils expliquent que les innovations se diffusent lentement dans le secteur et que, par conséquent, la productivité y croisse si faiblement. Les innovations qui font le plus rapidement leur chemin sont avant tout les nouveaux matériaux conçus par de grandes firmes manufacturières disposant de fortes capacités de R-D, matériaux qui sont testés par les laboratoires de recherche indépendants, approuvés par la suite par les autorités gouvernementales, puis intégrés aux codes du bâtiment. Dans ce cas, le risque devient faible pour les acteurs du bâtiment, qui introduiront sans difficulté l'innovation dans leur pratique. Par contre, les innovations directement produites par l'industrie de la construction sont beaucoup moins fréquentes.

2.2 L'ampleur des problèmes⁷

Tout au long du 20^e siècle, plusieurs études ont porté sur les problèmes du secteur de la construction. Or, ce qui frappe quand on les examine est que le même diagnostic est régulièrement posé et les mêmes problèmes identifiés, et que ceux-ci persistent malgré tout. Cette situation est généralisée dans l'ensemble des pays industrialisés.

Aux États-Unis, un rapport remontant à 1921 avait noté entre autres que les entrepreneurs généraux ne fixaient aucun calendrier de production autre que les dates de début et de fin, que le contrôle de la livraison des matériaux était sommaire, que les murs souffraient d'un manque de standardisation, que des méthodes de production déficientes constituaient certainement la faiblesse la plus sérieuse de cette industrie et qu'enfin la gestion du personnel était également rudimentaire, l'embauche et le congédiement des employés ne relevant que des

7. Les informations de cette section proviennent plus particulièrement de Lauri Koskela, *op. cit.*

contremaîtres. Seulement deux lacunes ont été corrigées depuis: d'une part, les murs ont été standardisés grâce à l'utilisation de matériaux fabriqués en usine comme les panneaux de placoplâtre, les «2 par 4», etc., et, d'autre part, la gestion du personnel a été améliorée.

Un rapport paru en 1983, *More Construction for the Money*, constatait que plus de la moitié du temps perdu durant la construction pouvait être attribuée à des pratiques de gestion déficientes. La fragmentation de l'industrie et un climat de confrontation avec les syndicats y étaient également considérés comme étant à l'origine des obstacles rencontrés. Le rapport plaidait pour un contrôle ordonné de la conception, pour la planification, pour la fixation du calendrier de production, pour la budgétisation, pour le contrôle des achats, de la logistique et, enfin, de la qualité.

Au Royaume-Uni depuis la Seconde Guerre mondiale, plusieurs rapports ont examiné les problèmes de la construction. Ces rapports ont tous en commun de reconnaître la gestion déficiente des projets comme une cause majeure des problèmes qui affectent le secteur. La gestion de la conception est aussi blâmée. En effet, on explique rarement au client les différentes possibilités qui s'offrent à lui ainsi que les contraintes qu'il doit accepter. Cela entraîne des problèmes, notamment d'efficacité, dans les phases ultérieures du projet. La gestion des sous-traitants est également rudimentaire, aucun de ceux-ci ne sachant exactement ce que les autres attendent de lui, ni ce qu'il peut attendre des autres. Les décisions de base sont souvent déficientes ou prises précipitamment, parce que l'information nécessaire n'est ni disponible, ni complète. En fait, le manque de données précises quant à la façon de procéder est un phénomène généralisé. Le dernier rapport, *Rethinking Construction*, qui date de 1998, plaide en faveur de changements radicaux dans les processus d'organisation du travail.

Des rapports parus dans les pays nordiques européens arrivent aux mêmes conclusions. En somme, un peu partout dans le monde au cours des cinquante, voire des cent dernières années, plusieurs études ont observé qu'une gestion déficiente et une mauvaise organisation du travail étaient les causes principales des problèmes de coût élevé, de faible productivité et de qualité insuffisante du produit fini.

Plusieurs études ont estimé que les coûts de la faible qualité varient entre 10 % et 20 % du coût total du projet, la médiane étant de 12 %. Un système intégré de gestion des matériaux entraînerait une économie de 10 % à 12 % des coûts de main-d'œuvre. Plusieurs études au Royaume-Uni ou aux Pays-Bas ont rapporté qu'environ 10 % des matériaux livrés sur un site de construction se retrouvaient en déchets. En ce qui concerne les processus de travail, deux études américaines ont conclu que seulement le tiers du temps de travail était consacré à des activités qui ajoutaient véritablement de la valeur. Une autre étude américaine constatait que, même dans les cas où les projets se déroulaient assez bien, chaque jour d'une semaine de travail où un dérangement quelconque survenait diminuait la performance des travailleurs de 9 %. Dans les cas de projets

Des pratiques de gestion déficientes

Des gaspillages de matériaux et de temps systématiques

qui se déroulaient mal, la réduction de la performance des travailleurs atteignait en moyenne 60 %. D'ailleurs, les sous-traitants américains haussent de façon systématique leurs soumissions d'un pourcentage d'environ 10 %, précisément parce qu'ils anticipent des problèmes sur les chantiers.

Manque de sécurité

Le manque de sécurité sur les chantiers a également des effets importants sur les coûts. Aux États-Unis, en 1987, une étude estimait que les coûts liés à la sécurité représentaient 6 % du coût total des projets. Une étude plus récente parue en 1996 concluait que dans le secteur non résidentiel ces coûts variaient entre 8 % et 15 % du coût total du projet. Or, une bonne partie de ces coûts pourraient sans doute être évités par une meilleure gestion des projets.

*Dépassement
du temps prévu*

Une étude portant sur des édifices commerciaux construits au Royaume-Uni entre 1984 et 1986 a révélé que seulement le tiers des projets était réalisé dans les temps prévus, que l'autre tiers dépassait d'un mois le temps fixé, les derniers projets subissant un retard plus long. Une étude australienne arrivait à des conclusions similaires.

Aux États-Unis, une étude récente concluait qu'entre 38 % et 51 % des 304 projets examinés avaient dépassé leur budget de plus de 5 %.

*Problème généralisé
partout dans
le monde*

En somme, les évidences empiriques convergent vers un gaspillage réel de temps, de matériaux et de valeur sur les chantiers de construction, et ce, partout dans le monde. Qui plus est, ce gaspillage affecte la qualité des bâtiments ainsi que la sécurité des travailleurs sur les chantiers.

La recension de 13 études menées au cours des années 1990 dans différents pays et portant sur les problèmes de gestion des projets de construction révèle qu'on peut classer ces problèmes sous quatre rubriques : d'une part, les problèmes liés aux décisions des clients et, d'autre part, ceux qui ont trait à la gestion soit de la conception, soit de la chaîne des fournisseurs, soit encore de la production sur le site même.

- Problèmes les plus importants liés aux décisions des clients :
 - Les clients tardent avant de prendre la décision de s'engager dans le projet, puis ils bousculent les architectes-ingénieurs pour que le projet se termine rapidement.
 - Il est très difficile d'amener le client à définir clairement ce qu'il veut vraiment, de sorte que les exigences manquent de transparence et sont mal cernées au départ.
 - Les architectes-ingénieurs étant pressés par le temps, il leur est impossible de fournir différentes solutions au client.
- Principaux problèmes liés à la gestion du design :
 - Les personnes concernées ne savent pas bien ce qu'il faut faire, qui devrait le faire et dans quels délais.
 - Les différents responsables de la conception n'ont pas une compréhension commune et claire de ce qui doit être conçu.

Le fait que le client définit souvent mal ses besoins au départ a des conséquences sur la gestion et le déroulement du projet. En effet, il est fréquent que le client exige des changements en cours de route, ce qui perturbe le projet et l'ensemble des acteurs. L'entrepreneur général a alors de la difficulté à bien planifier et à contrôler la production sur le chantier.

Pour ce qui est de la *gestion de la chaîne des fournisseurs*, la gestion des stocks est aléatoire et de type *ad hoc*. Par exemple, les directeurs de chantier demandent qu'on commande de nouveaux matériaux simplement quand ils constatent que les stocks diminuent ou encore lorsque des travailleurs expérimentés portent ce fait à leur attention. Ce système *ad hoc* entraîne inévitablement des délais et oblige à modifier le cours des travaux ou à ralentir les activités sur le chantier, ce qui réduit la productivité. Pour remédier à ce problème, certaines entreprises commandent plus de matériaux qu'il n'en faut afin d'être assurées de ne pas en manquer. Cependant, cela a pour effet d'encombrer le site, d'entraîner du gaspillage et de nuire à la sécurité sur le chantier.

*Gestion des stocks
déficiente*

En ce qui regarde la *gestion sur le site du chantier*, la planification des tâches et des sous-traitants est minimale. Par exemple, les sous-traitants ne reçoivent que les dates de début et de fin de leurs travaux. En fait, les sous-traitants doivent entièrement se débrouiller entre eux pour ce qui est du déroulement des travaux. Les directeurs de chantier ne se préoccupent pas de mieux coordonner le travail des différents intervenants. Leur seule exigence est que ceux-ci respectent la date d'échéance qui leur a été fixée. En somme, les gestionnaires des chantiers gèrent globalement le projet, mais ils n'exercent pas de véritable contrôle de la production comme cela se fait dans les secteurs manufacturier, minier ou même dans plusieurs industries de service.

*Planification du
travail minimale*

La question qui se pose alors est de savoir pourquoi pareils problèmes persistent malgré les nombreuses études parues depuis 1960 pour les dénoncer.

D'abord, la gestion des projets de construction se fait de manière décentralisée et surtout informelle. Le mode de gestion fait en sorte que les travailleurs ont tendance à refiler les problèmes à ceux qui les suivent, ce qui a pour effet de favoriser la confrontation entre les différentes entreprises. Le problème est que l'industrie de la construction ne reconnaît pas que toutes les parties engagées dans le projet, du client aux concepteurs, à l'entrepreneur général et aux sous-traitants, sont *interdépendantes* et que les actions de l'une ont forcément des conséquences sur les autres.

*Gestion
décentralisée et
surtout informelle*

En réalité, les entrepreneurs généraux sont surtout préoccupés de minimiser les coûts en cherchant à obtenir les plus bas prix possible, tant pour les matériaux que pour les différents sous-traitants. Or, ce souci peut avoir plusieurs effets pervers. Par exemple, le fait de recourir au plus bas soumissionnaire pour les matériaux peut faire en sorte que le fournisseur, pour réduire ses coûts, va effectuer le minimum de livraisons sur le chantier, ce qui aura pour effet d'encombrer le chantier inutilement, avec des conséquences négatives sur la

productivité. De même, les contrats étant adjugés uniquement en fonction du prix, aucune synergie ne se développe entre l'entrepreneur général et les sous-traitants qui n'ont pas l'habitude de travailler ensemble et qui changent d'un projet à l'autre. De plus, comme on l'a vu précédemment, les innovations des sous-traitants sur un projet se perdent, les organisations n'ayant pas de mémoire. En somme, la tendance à choisir les sous-traitants en visant le coût le plus faible peut nuire énormément à l'innovation.

2.3 Tentatives antérieures pour résoudre les problèmes du secteur de la construction

Au cours des quarante dernières années, plusieurs solutions ont tout de même été proposées afin de remédier aux problèmes de faible croissance de la productivité, de coûts élevés ainsi que parfois de piètre qualité des produits livrés. Les efforts ont porté dans plusieurs directions. Mentionnons l'industrialisation et la préfabrication, la mécanisation, l'intégration des technologies de l'information, de même que des changements dans l'organisation du travail.

L'idée d'industrialiser la construction ne date pas d'hier. En effet, dès les années 1930 aux États-Unis, devant les succès remportés par la production de masse dans plusieurs secteurs industriels, plus particulièrement celui de l'automobile, des usines fabriquant des maisons sur une chaîne de montage sont apparues. Ces essais furent de courte durée et il a fallu attendre les années 1960 avant que d'autres tentatives soient faites dans le même sens un peu partout dans le monde. Cependant, sauf au Japon et en Suède, la production de maisons en série n'a jamais véritablement réussi à accaparer une partie importante du marché.

Une automatisation très limitée

L'automatisation de la construction est également demeurée un phénomène marginal. Certes, les outils électriques ou pneumatiques, les scies et perceuses électriques sont largement utilisés sur les chantiers, mais l'apparition de nouveaux outils demeure assez rare. La majeure partie des travaux font encore appel massivement aux ressources manuelles. En fait, c'est surtout dans les nouveaux matériaux (panneaux de placoplâtre par exemple) et dans les composants fabriqués en usine (armoires, fenêtres, etc.) que les innovations permettant d'économiser la main-d'œuvre et d'augmenter la productivité sont le plus souvent observées. Par contre, en ce qui a trait au travail d'assemblage sur les chantiers mêmes, très peu de changements ont été notés par rapport aux méthodes d'il y a cinquante ou cent ans. Pensons ici, par exemple, au briquetage. La façon d'ériger un mur de briques n'a pratiquement pas changé depuis le début du siècle dernier. Il en est de même pour l'érection des ossatures des murs de bois dans la construction résidentielle, et ce, tant au Canada qu'aux États-Unis. Sur les grands chantiers de construction, on a vu apparaître de façon systématique des grues

ainsi que de la machinerie lourde, surtout pour creuser et niveler le sol, mais ces innovations furent introduites au début et au milieu du 20^e siècle. Or, depuis ce temps, il n'y a pratiquement eu aucun changement. Au cours des vingt dernières années, c'est au Japon que les tentatives de mécaniser et d'automatiser l'assemblage des matériaux ont été les plus poussées. Cependant, ce pays constitue une exception plutôt que la règle.

L'introduction des technologies de l'information a suscité beaucoup d'espoir. Les TI sont maintenant largement utilisées dans la conception des édifices. Il est même possible de visualiser un édifice et ses différentes parties en trois dimensions avant la construction. Plusieurs logiciels ont également été développés ou adoptés en vue de faciliter l'organisation du travail. Il semble malheureusement que les TI n'ont pas encore eu d'effet marqué sur la productivité du secteur de la construction. Cependant, elles recèlent un potentiel énorme pour accroître la productivité de ce secteur. C'est pourquoi le sujet sera repris dans le chapitre 5.

En fait, jusqu'au début des années 1980, pratiquement toutes les innovations ont consisté à adopter des matériaux et des composants fabriqués en usine, ce qui a permis de réduire le travail sur les chantiers. Toutefois, pratiquement aucune innovation n'a émergé directement des chantiers.

La situation a commencé à changer au cours des années 1980. Un peu partout dans le monde, on a pris conscience qu'il fallait résolument modifier l'organisation de la production sur les chantiers pour corriger le problème de la faible productivité du secteur de la construction. On en est encore actuellement à la phase d'expérimentation et de mise au point de nouvelles façons de faire. Nous allons voir plusieurs de ces différentes tentatives : la construction en régime accéléré (*fast track*), la procédure séquentielle, le partenariat (*partnering*), la conception-construction (*design-build*) et l'approche de la construction allégée (*lean construction*).

La construction en régime accéléré (*fast track*)⁸ fut introduite au milieu des années 1980, plus particulièrement au Royaume-Uni mais également aux États-Unis. Cette méthode de travail vise à comprimer le temps requis pour concevoir et ériger un édifice, notamment en commençant les travaux avant que le plan soit terminé. Il semble que cette approche ait été un échec. Alors qu'elle cherchait à diminuer les coûts de construction en raccourcissant le temps nécessaire pour ériger un édifice, c'est le contraire qui s'est produit dans la plupart des cas. Par exemple, la réalisation aux États-Unis d'un projet de 100 millions de dollars a nécessité près de 11 mois de plus que ce qui avait été planifié. Dans ce cas précis, les plans détaillés n'étaient pas prêts pour les dates prévues de soumission. Même durant les périodes de soumission, plusieurs plans ont continué à être modifiés. Le fait d'avoir accordé les contrats avant que les plans soient complétés a entraîné une hausse importante du temps de travail dans la firme d'ingénieurs-conseils

Les technologies de l'information

Une volonté de modifier l'organisation de la production

La construction en régime accéléré (fast track)

8. Voir P. Fazio, O. Moselhi, P. Théberge et S. Revay, « Design impact of construction fast-track », *Construction Management and Economics*, 5 (1988), p. 195-208.

chargée de finaliser le design du projet. Cette compression du temps a eu des effets en cascade sur tous les acteurs. Les sous-traitants étaient nombreux sur le chantier en même temps et ils avaient peu de temps pour effectuer leurs tâches, ce qui a nui à leur productivité et suscité une grande frustration chez l'ensemble de la main-d'œuvre. Du retard total de 11 mois, les deux tiers sont directement attribuables à l'approche de construction en régime accéléré. Le fait d'allouer simplement deux mois de plus à la période de design aurait semble-t-il permis d'éliminer la plupart des problèmes causés par cette méthode. En fait, plusieurs auteurs soutiennent qu'il faut consacrer non pas moins de temps, mais plus de temps à la phase de conception qu'on ne le fait actuellement afin de mieux planifier les travaux et d'éviter les changements perturbateurs en cours de route.

La procédure séquentielle

La *procédure séquentielle* fut surtout implantée en France sur une base avant tout expérimentale. L'idée centrale est tout le contraire de l'approche *fast track*. Il s'agit de planifier les différentes étapes de réalisation dans des séquences autonomes. Chaque séquence regroupe des tâches non pas en fonction des corps de métiers, mais en fonction des travaux à accomplir. Le travail s'en trouve facilité, puisqu'une seule firme à la fois est présente sur le chantier. Entre chacune des séquences, un contrôle de la qualité est effectué, puis on passe à la séquence suivante. Le calendrier général est strictement contrôlé. Les buts poursuivis sont de réduire au minimum les problèmes de coordination, de voir à ce que la qualité soit élevée et que les problèmes rencontrés soient corrigés au fur et à mesure plutôt que de tomber en cascade sur les sous-traitants ultérieurs. Cette approche n'a pas connu la diffusion qu'elle méritait, selon certains de ses partisans.

La conception-construction (design-build)

La conception-construction (*design-build*) est une nouvelle façon de faire qui s'est répandue au cours des années 1990, en particulier aux États-Unis. Plutôt que de recourir à une firme de design et par la suite à un entrepreneur général, le client accorde le contrat à une seule entité juridique qui devient responsable des deux volets. Cette méthode permet d'éliminer les obstacles à la communication entre les concepteurs et la firme responsable de la construction. Cela permet donc de réduire un élément qui fait obstacle à l'innovation. L'entité juridique peut prendre plusieurs formes : ce peut être une firme d'architectes-ingénieurs qui établit une alliance temporaire avec une firme de construction pour un projet particulier; ce peut être une seule firme qui embauche des architectes et des personnes responsables de la construction; ou ce peut être une firme d'architectes-ingénieurs qui forme une alliance permanente avec une firme de construction. Dans tous les cas, la responsabilité du projet est partagée entre l'architecte et l'entrepreneur général à la fois durant la phase de conception et durant la construction. En fait, il s'agit d'un retour aux sources pour le secteur du bâtiment, car jusqu'au milieu du 19^e siècle, les fonctions de conception et de construction étaient remplies par une seule et même firme.

Le Design-Build Institute of America⁹, créé en 1993, s'est donné comme mission de promouvoir le principe de conception-construction dans l'ensemble du secteur aux États-Unis. À cette fin, il propose toute une série de services à ses membres. C'est ainsi qu'il distribue plusieurs publications sur une multitude de sujets qui vont des contrats types à des codes de conduite professionnelle, en passant par des documents explicatifs sur la conception-construction, des outils pour faciliter la planification de projets, des documents illustrant les meilleures pratiques, etc. Des cours et des séminaires sont régulièrement donnés dans différentes villes américaines. De plus, des conférences sont organisées sur différents sujets. L'Institut travaille en étroite collaboration avec de grandes entreprises et des agences gouvernementales afin que ces dernières établissent des pratiques d'appels d'offres qui ne nuisent pas à la conception-construction. Une étude, effectuée en 1997 et portant sur 351 projets réalisés en recourant à la conception-construction, a conclu que cette méthode permettait en moyenne de diminuer les coûts de 6 % par rapport à la méthode traditionnelle, le temps de construction de 12 %, la durée totale du projet de 33 %, alors que la qualité dépassait les attentes des clients à tous points de vue.

Le tableau 2.1 rapporte certains avantages et inconvénients de la conception-construction. Le client doit définir ses besoins de manière détaillée le plus tôt possible. Cela constitue certes une contrainte pour lui, mais entraîne un avantage appréciable pour les concepteurs et l'entrepreneur général ainsi que pour les sous-traitants qui seront ainsi assurés que le plan est final et que le client ne perturbera pas le chantier en cours de route. Cet inconvénient pour le client est de toute façon largement compensé par les avantages qu'il en retire.

Le site Web de l'Institut rapporte le nom des cent plus grandes firmes américaines qui recourent au concept de la conception-construction. Toutes les grandes firmes d'ingénierie-conseil, comme Bechtel, Fluor Daniel, McDermott International, Foster Wheeler, Raytheon, Kellogg, etc., y sont mentionnées. La conception-construction est donc maintenant solidement implantée aux États-Unis, en particulier dans ce type d'entreprises.

La décision du US Army Corps of Engineers en 1990 d'adopter le *partenariat (partnering)*¹⁰ en a accéléré la diffusion. Depuis, le partenariat s'est répandu aux États-Unis et il est également présent au Royaume-Uni où l'université de Westminster en fait une promotion active auprès du secteur de la construction. Le partenariat vise avant tout à instaurer un système où les différents acteurs (client, designers, entrepreneur général et sous-traitants) s'engagent à travailler selon les principes fondamentaux d'engagement, de confiance, de respect, de communication et, enfin, d'égalité des partenaires. Ces cinq principes assurent que les intérêts de chacune des parties seront pris en considération. En général, les différentes parties signent une entente au début du projet dans laquelle elles

*Un organisme voué
à la conception-
construction*

*Avantages
et inconvénients
de la conception-
construction*

Le partenariat

9. L'adresse Internet de l'Institut est <http://www.dbia.org>.

10. Voir James Barlow, « Innovation and learning in complex offshore construction projects », *Research Policy*, 29 (2000), p. 973-989 et James Barlow, *Partnering, Lean Production and the High Performance Workplace*, disponible sur le Web à <http://web.bham.ac.uk/d.j.crook/lean/iglc4/barlow/barlow.htm>.

s'engagent à travailler dans le meilleur intérêt de chacun. Un système de résolution des disputes accepté par tous les participants ainsi qu'une méthode d'évaluation de la performance du projet sont également mis en place dès le départ. Il peut de plus arriver que l'entente spécifie le partage des économies qui seront réalisées grâce au partenariat.

Tableau 2.1
Avantages et inconvénients de la conception-construction

Avantages	Inconvénients
Une seule entité responsable du projet.	Obligation faite au client de déterminer ses besoins tôt et de manière très détaillée.
Réalisation plus rapide du projet.	Processus de sélection complexe (et potentiellement subjectif)
Synergie entre le concepteur et le constructeur.	Préparation coûteuse des soumissions.
Possibilités de design plus variées avec des prix fermes.	Engagement par contrat du client avant que tous les détails relatifs au design soient finalisés.
Possibilité d'offrir des garanties de performance.	Contrôle strict du design par le client impossible.
Relations conflictuelles évitées.	Obligation que les phases de suivi et d'approbation par le client se fassent dans les temps impartis.
Fixation hâtive d'un prix ferme.	
Peu de surveillance nécessaire de la part du client.	
Le concepteur-constructeur doit assurer la performance durant toute la période de garantie, tandis que dans la méthode traditionnelle, les architectes-ingénieurs garantissent le meilleur effort possible, et non pas le résultat.	
Source: Edward Wundram, « Design-Build. A successful procurement option », dans International Council for Building Research Studies, <i>Procurement – The Way Forward</i> , Publication 217.	

La méthode fonctionne bien lorsque la planification est minutieuse. Par exemple, une rencontre d'une ou de deux journées permettra aux différents partenaires d'apprendre à se connaître, de partager leurs expériences et de viser à bien définir les objectifs communs, les problèmes potentiels, les méthodes de résolution des problèmes, etc. Cette étape permettra également de désigner clairement les personnes responsables des différents travaux dans chacune des entreprises concernées. Généralement, le partenariat favorise la délégation des responsabilités à des personnes qui sont directement sur le chantier; il peut donc mener à un aplatissement de la pyramide hiérarchique. En effet, on vise à régler les conflits sur place le plus rapidement possible afin de prévenir un arrêt des travaux et d'éviter que la dispute ne se termine devant les tribunaux. Ce sont les gens directement sur le chantier qui sont les mieux à même de régler ces

problèmes. Cela s'avère donc exigeant pour les dirigeants d'entreprise, qui doivent accepter de déléguer une partie de leur pouvoir à leurs employés sur le chantier et leur faire confiance.

Un exemple de succès de partenariat est donné par un projet dirigé par la British Petroleum, projet qui consistait à assembler et à installer une plate-forme de forage en mer du Nord. Alors qu'une plate-forme de ce type aurait coûté normalement plus de 700 millions de dollars, le coût total ne fut que de 453 millions, ce qui a permis de distribuer 70 millions en ristournes aux sept partenaires du projet. De plus, le projet fut terminé six mois avant la date prévue. Aucune dispute n'est survenue entre les partenaires durant le projet malgré les obstacles rencontrés (par exemple la faillite d'un sous-traitant après le début des travaux). Le taux d'accident fut réduit de moitié par rapport à la normale, en bonne partie grâce au recours à une technique innovatrice, soit l'assemblage du haut de la plate-forme sur la terre ferme plutôt que son érection pièce par pièce sur le chantier même. Ce partenariat a favorisé l'innovation chez presque tous les partenaires du projet. En effet, étant donné que les sous-traitants étaient directement concernés et consultés, ils pouvaient proposer des solutions originales au lieu de suivre les méthodes traditionnelles. Cela a permis d'économiser temps et matériaux. Le partenariat a largement favorisé l'expression de la créativité chez le personnel des différentes entreprises. Le mécanisme de partage des gains a incité chacune des entreprises à faire de son mieux et à encourager la créativité chez ses employés. Il faut noter qu'une pénalité aurait été appliquée en cas de dépassement des coûts, pénalité qui aurait été partagée entre les différents partenaires.

Un exemple de partenariat

Un examen de cinq cas de partenariats au Royaume-Uni couvrant une quarantaine d'entreprises révèle que les résultats ne sont pas toujours aussi spectaculaires¹¹. Les différences semblent notamment tenir au fait qu'on n'ait pas suffisamment délégué des responsabilités aux employés ou qu'on n'ait pas cherché à construire une véritable équipe seule responsable du projet.

Divers cas de partenariats

La construction allégée (*lean construction*) s'inspire fortement des méthodes de production à la japonaise, plus particulièrement de celle de Toyota¹². Cette approche vise à mieux contrôler le processus afin que celui-ci soit conforme au plan prévu, au lieu de se contenter de surveiller les différents intervenants pour qu'ils respectent les prévisions budgétaires et les dates prévues. Elle favorise une méthode ascendante (*pull*) plutôt que descendante (*push*). Une activité ne peut débuter que lorsque les précédentes ont été achevées. L'encombrement sur les chantiers est moindre, les stocks moins importants et le contrôle de la qualité plus facile. Les problèmes ne sont plus repoussés aux étapes et aux acteurs ultérieurs.

La construction allégée (lean construction)

11. Voir James Barlow, *op. cit.*

12. Voir le site Web du Lean Construction Institute à l'adresse <http://www.leanconstruction.org> pour un ensemble de documents sur le sujet. Voir notamment Gregory Howell, *What is lean construction?* Greg Howell et Glenn Ballard, *Implementing Lean Construction: Understanding and Action*, Ruben Vrijhoef et Lauri Koskela, *Roles of Supply Chain Management in Construction*.

La construction allégée fait appel à une triple hiérarchie d'outils de planification et de détermination des calendriers de travail. Le calendrier-maître touche l'ensemble du projet et fixe uniquement les grandes étapes. Le calendrier de planification représente une étape intermédiaire et détermine les principaux travaux à compléter au cours des six à huit semaines subséquentes. Les travaux y sont plus détaillés que dans le calendrier-maître. Enfin, le calendrier hebdomadaire planifie les travaux de la semaine à venir de manière très détaillée. Il assure que les travaux seront terminés avant qu'une étape ultérieure ne débute. Le responsable en chef de ce calendrier est normalement le contremaître en charge du chantier. Il détermine qui fait quoi, combien de personnes seront affectées aux différentes tâches, etc. L'avancement des travaux est rigoureusement mesuré. Les tâches en retard doivent être analysées au fur et à mesure de leur avancement afin de relever les erreurs commises et de prendre les mesures nécessaires pour éviter de les répéter. On cherche donc ici à s'améliorer continuellement.

Un exemple de construction allégée (lean construction)

Un exemple permettra d'illustrer le concept de construction allégée (*lean construction*). Cette méthode fut employée pour rénover un édifice construit en 1925 et abritant le département de chimie sur le campus de l'université Rice aux États-Unis. L'entrepreneur général était responsable de l'ensemble du projet, y compris de l'installation de l'équipement des laboratoires. Le coût total prévu du projet était de 22 millions de dollars US. Des consultants de l'extérieur furent embauchés afin de familiariser tant l'entrepreneur général que les sous-traitants avec cette méthode. On établit un système de primes pour motiver tous les participants. Le calendrier des travaux fut construit en partenariat avec tous les sous-traitants plutôt que par l'entrepreneur général seulement. Les résultats se sont révélés très probants. Le nombre de conflits a été réduit de manière très marquée, surtout à mesure que le projet avançait. Les sous-traitants communiquaient les uns avec les autres, alors qu'ils ne le faisaient pas sur les chantiers traditionnels. L'approche a permis de diminuer sensiblement la reprise de travaux. De plus, le moral des employés a été remarquable durant l'ensemble du projet. Les participants ont souligné la précision et la fiabilité des calendriers de travail, notamment grâce aux réunions hebdomadaires de planification des tâches. Certains contremaîtres soumettaient même le calendrier aux ouvriers afin d'obtenir leurs commentaires et leurs suggestions avant qu'il soit fixé de manière finale.

Les matériaux furent livrés selon le principe du juste-à-temps. Les livraisons plus fréquentes ont fait augmenter certes le coût des matériaux, mais ces coûts additionnels furent plus que compensés par les économies de main-d'œuvre résultant notamment d'un encombrement moindre du chantier. Le projet s'est achevé avec une économie totale de plus d'un million de dollars US.

Des consultants en appui

Les consultants embauchés ont clairement contribué à la réussite du projet grâce à la formation qu'ils ont donnée aux participants sur les principes et sur le fonctionnement de la construction allégée. Le principal facteur du succès de la méthode est que tant l'entrepreneur général, que le client et les principaux sous-

traitants y ont cru et se sont engagés à fond. En fait, seul le concepteur n'a pas appliqué la méthode et les participants ont estimé que le projet se serait encore mieux déroulé s'il avait également utilisé cette manière de procéder.

Cinq projets¹³ où l'on a eu recours à la méthode de la construction allégée révèlent une réduction appréciable du temps de construction (dans certains cas de 20 %), de même que des coûts de construction (parfois jusqu'à 10 %). La motivation des employés était élevée, le nombre de conflits faible et la qualité supérieure à celle qu'on observe habituellement dans d'autres contextes.

Un autre exemple d'une entreprise qui a recours à différentes méthodes pour améliorer la qualité et la productivité de la construction est Doyle Wilson Homebuilders du Texas, qui construit annuellement 400 maisons. Doyle est à l'origine d'une initiative majeure en 1991, axée sur la qualité et sur le concept du *lean construction*. La direction a enseigné les principes de la qualité totale à l'ensemble des employés, éliminé les commissions sur les ventes et obligé les sous-traitants à participer à des séminaires mensuels sur la qualité. L'entreprise a implanté un système centralisé où le calendrier journalier joue un rôle central. Ce dernier détaille les travaux à terminer le lendemain et on s'assure de leur réalisation par un suivi journalier. Le nombre de fournisseurs a été sensiblement réduit : il est passé de 100 à 40. Notons par ailleurs que l'entreprise entretient des liens étroits avec ses fournisseurs. Elle cherche très activement à obtenir leurs réactions, de même que celles de ses acheteurs et de ses sous-traitants. Les idées et suggestions émises par ces derniers doivent recevoir une attention dans les 48 heures. Après la mise en œuvre de ces différentes mesures, les coûts de construction d'une maison ont diminué de 12 % à 13 %, la durée de construction d'une maison est passée de 165 jours à 71 jours et le taux de satisfaction des clients a grimpé à 96 %. L'entreprise a reçu le National Housing Quality Award en 1995.

*Un constructeur
de maisons à
l'avant-garde*

La British Airport Authority (BAA) est une autre entreprise qui a mis en place plusieurs mesures innovatrices de gestion des projets de construction. Elle possède et gère sept aéroports au Royaume-Uni, dont Heathrow. En 1994, la BAA a lancé une série d'initiatives majeures en vue de diminuer les coûts de construction dans ses aéroports. Elle a commencé par identifier, puis a introduit les meilleures pratiques. Elle a ensuite décidé de concevoir des composants standard pour ses différents aéroports, que ce soit pour le pavage, l'acoustique, l'efficacité énergétique, les sièges, etc. À cet effet, l'entreprise a mis l'accent sur une approche rigoureuse dans chacun des projets afin de bien contrôler les coûts. Un certain nombre de politiques ont été mises en œuvre, par exemple la préplanification, par laquelle on s'assurait que le design était bel et bien terminé avant de commencer la construction, ainsi que la planification attentive des différentes étapes de construction. La BAA a également eu recours à l'ingénierie simultanée, fournisseurs et sous-traitants étant alors intégrés à l'équipe

*Le cas de la British
Airport Authority*

13. Voir Gregory A. Howell, « Introducing lean construction, Reforming project management », disponible sur le site Web du Lean Construction Institute.

responsable du projet. Notons à cet égard que l'entreprise a décidé de travailler avec un nombre limité de fournisseurs et de sous-traitants soigneusement choisis, ce qui diffère de la pratique habituelle du recours au plus bas soumissionnaire. Les résultats positifs n'ont pas tardé à apparaître. De 1993 à 1999, les coûts de construction ont diminué de 30 %, alors qu'ils augmentaient de 43 % en moyenne au Royaume-Uni durant la même période. Le nombre d'accidents par 100 000 heures travaillées a diminué, passant de 0,86 à 0,66, soit une baisse de 23 %. Enfin en ce qui concerne les temps prévus de construction, 23 % des projets étaient en avance, 63 % se déroulaient dans le temps prévu et 23 % dépassaient l'échéance. Normalement, les deux tiers des projets dépassent le temps alloué dans ce genre de projets.

Le tableau 2.2 fait ressortir un ensemble de points communs aux entreprises qui ont adopté des pratiques innovatrices d'organisation de la production.

Des cas exemplaires

Le tableau révèle que l'ensemble des entreprises exemplaires retenues ont toutes cherché à mieux contrôler leur processus de production global. Les moyens utilisés ont été diversifiés : calendriers détaillés, contrôle centralisé, conception-construction, etc. Des efforts substantiels ont été déployés afin que l'ensemble du processus soit maîtrisé. Toutes les différentes entreprises ont systématiquement mesuré les différents intrants et extrants : temps de production pour chacune des tâches, qualité, taux d'accidents, coûts variables, etc. Il est également frappant de constater que la plupart d'entre elles ont eu recours à des réseaux stables de fournisseurs et de sous-traitants. Certaines entreprises ont eu recours à la préfabrication et ont également fait appel aux TI pour implanter les nouvelles méthodes d'organisation du travail.

Un client exigeant et au fait de la technologie : une source d'innovations

Un autre facteur qui favorise l'innovation dans les projets de construction a été clairement identifié par des études récentes¹⁴. Les recherches ont en effet démontré que trois conditions doivent être réunies pour qu'une firme devienne demandeur d'innovations. La première est qu'un partisan de l'innovation se fasse le champion des nouvelles technologies dans la firme, la deuxième est que cette personne occupe un poste de responsabilité élevée dans l'entreprise afin de réussir à vaincre les résistances et, enfin, la troisième condition est que ce champion du progrès possède lui-même une très bonne expertise technologique.

Le coût élevé d'un échec potentiel pousse l'ensemble des acteurs à adopter une attitude conservatrice. Lorsqu'un bâtiment comporte des défauts majeurs, cela entraîne d'énormes conséquences, à la fois pour le client qui a commandé la construction et pour les entreprises responsables de la construction. Ces dernières voient leur réputation entachée, alors que le client est très ennuyé par la situation. Cela est encore plus vrai dans le cas d'un bâtiment public où les défauts qui surviennent peuvent rapidement défrayer la manchette des journaux. Pour venir à bout des hésitations, le gestionnaire doit avoir pleine confiance dans la firme chargée du projet de construction. C'est précisément le fait que le

14. Voir C.H. Nam et C.B. Tatum, « Leaders and champions for construction innovation », *Construction Management and Economics*, 15 (1997), p. 259-270.

dirigeant de la firme cliente possède une bonne expertise technologique qui permet de vaincre les résistances. Enfin, un autre facteur favorable doit être mentionné: c'est le fait que les firmes clientes disposent des ressources financières suffisantes pour se doter d'une certaine capacité technologique, que ce soit en effectuant de la R-D ou plus simplement en embauchant du personnel technique (ingénieurs et architectes, par exemple) en nombre suffisant.

Tableau 2.2
Niveau d'implantation de différents principes d'organisation dans huit entreprises de construction

	Design	Contrôle	Amélioration observée
Sekisui	Usinage, préfabrication, développement de la chaîne de fournisseurs	Contrôle «juste-à-temps»	Amélioration notable
Skanska	Spécialisation organisationnelle	Contrôle plus efficace	Amélioration stimulée par la compression du temps, un système de mesures et la spécialisation
Arcona	Coopération avec les fournisseurs, emploi de la conception-construction (design-build)	Meilleur contrôle (calendriers de travail détaillés)	Amélioration stimulée par la compression du temps et le développement concerté de produits
T40	Nouvelle structure organisationnelle, redesign du processus	Meilleur contrôle	Amélioration au moyen de mesures
Doyle Wilson	Réduction du nombre de fournisseurs, partenariat avec les fournisseurs	Meilleur contrôle (contrôle centralisé)	Atteinte des cibles fixées, collection systématique des idées visant à améliorer les processus, système de mesures
Plano 100	Réseaux stables de fournisseurs, canaux de distribution simplifiés	Meilleur contrôle	Progrès obtenus de concert avec les fournisseurs, amélioration des processus sur le site, système de mesures
BAA	Réseaux stables de fournisseurs, redesign des processus de travail	Contrôle systématique fixées, système de mesures	Amélioration des cibles
TD Industries		Meilleur contrôle (planification à court terme et suivi)	Système de mesures

Source: Lauri Koskela, *An Exploration towards a Production Theory and Its Application to Construction*, 2000.

2.4 Pénétration des pratiques organisationnelles innovatrices dans les entreprises

Les données empiriques qui portent sur l'introduction de nouvelles pratiques d'organisation du travail sur les chantiers de construction dans le monde sont rares.

Selon le Design-Build Institute, le taux de pénétration de la conception-construction aux États-Unis était de 35 % en 2000, mais il augmenterait progressivement à 55 % en 2015. Cette évolution se fait entièrement aux dépens de la méthode traditionnelle de la conception-soumission-construction selon laquelle les firmes de design travaillent sans consulter l'entrepreneur. Celui-ci est simplement choisi à la suite d'une soumission et n'intervient pas lors de la conception. La méthode traditionnelle a régressé, passant de 82 % en 1985 à 54 % en 2000. Elle chuterait à 35 % en 2015.

En ce qui concerne le Canada, Statistique Canada a produit en 1999 une étude très représentative du milieu, puisqu'elle a rejoint 2 500 entreprises de différentes tailles choisies selon un échantillon aléatoire (voir tableau 2.3).

Ce qui frappe à la lecture du tableau 2.3, c'est que les entreprises québécoises du secteur de la construction semblent devancer celles de l'Ontario et du reste du Canada en matière d'emploi des outils informatiques pour la gestion des inventaires, de la fixation des horaires de travail, etc., ainsi que pour la certification de la qualité. Leur performance est similaire pour ce qui concerne les alliances stratégiques, les contrats d'inspection ou de maintenance post-construction ainsi que les contrats de *Build-Operate-Transfer* (BOT)¹⁵. Par contre, les entreprises québécoises éprouvent un très sérieux retard en matière de conception-construction. Seulement 20 % des entreprises y ont recours au Québec, alors que la proportion est de 35 % aux États-Unis. Un autre point faible des entreprises québécoises est leur capacité limitée à anticiper tant les marchés futurs que les technologies à venir. Elles sont, de ce fait, moins nombreuses à élaborer des plans stratégiques ou à publier des rapports signalant les améliorations technologiques qu'elles souhaitent apporter.

En somme, le portrait est nuancé. Les entreprises québécoises semblent en avance sur certains plans, mais en retard sur d'autres. Il s'avère tout de même très préoccupant qu'en matière de conception-construction, les entreprises québécoises montrent autant de retard par rapport aux firmes ontariennes et américaines.

À ce propos, aucun organisme québécois n'est voué à la promotion des nouvelles pratiques organisationnelles dans l'industrie de la construction. La situation est différente à l'étranger. Rappelons l'existence aux États-Unis du

Les entreprises québécoises en avance sur le reste du Canada, en matière d'emploi de certains outils informatiques

Des entreprises québécoises en retard dans certaines pratiques organisationnelles

15. Dans un contrat du type BOT, la firme qui décroche le contrat conçoit le projet, le finance, le réalise, puis elle est propriétaire des infrastructures durant un nombre déterminé d'années au cours desquelles elle voit à en assurer le bon fonctionnement et perçoit les revenus afférents. À la fin de la période prévue, le client (généralement un gouvernement) prend possession des infrastructures. Dans le cas du BOT, la firme qui réalise le projet n'en devient pas propriétaire mais en assure le fonctionnement.

Design-Build Institute qui fait une promotion active de ce concept auprès des entreprises. Mentionnons également le Lean Construction Institute qui s'emploie à promouvoir le concept de la construction allégée (*lean construction*) auprès des entreprises par toutes sortes de moyens: conférences, séminaires, congrès, publications, outils informatiques, etc., ainsi que le Construction Industry Institute (voir l'encart ci-après). Au Royaume-Uni également, certaines universités font la promotion active de nouvelles pratiques, dont le partenariat.

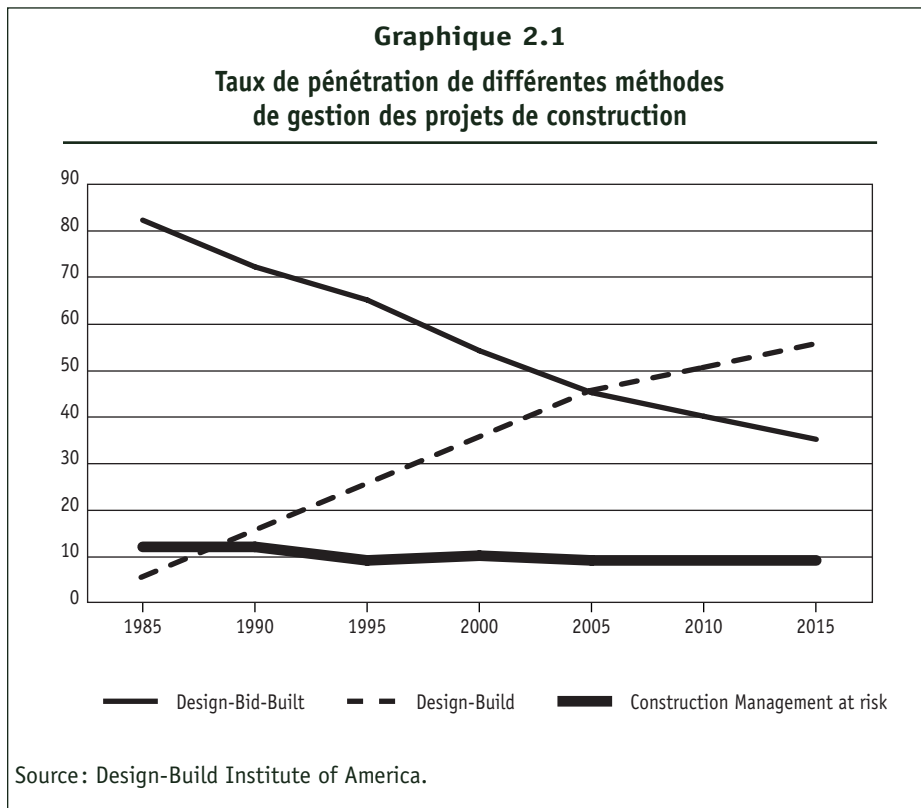


Tableau 2.3
Emploi de pratiques organisationnelles innovatrices
dans l'industrie de la construction, Canada, Ontario et Québec.
Pourcentage des entreprises qui utilisent l'innovation
ou qui prévoient l'utiliser au cours des deux prochaines années

	Canada	Ontario	Québec
Contrôle informatisé des inventaires	30	23	42
Logiciel d'estimation	52	49	49
Systèmes informatisés de gestion du projet ou de fixation des calendriers de travail	51	49	62
Certification de qualité (ex. : ISO 9000, R2000)	14	10	24
Rapport d'analyse du marché pour évaluer les besoins et les opportunités d'affaires	24	32	12
Documentation écrite des améliorations technologiques développées par l'entreprise	17	29	10
Évaluation écrite des nouvelles idées visant à concevoir des choix stratégiques pour l'entreprise	25	33	22
Plan stratégique	30	35	25
Contrats de conception-construction	39	52	20
Contrats de <i>Build-Operate-Transfer</i>	8	13	8
Contrats d'inspection ou de maintenance postconstruction	21	24	24
Alliances stratégiques de long terme avec d'autres entreprises en vue de travailler à des projets communs	31	26	27

Source: Statistics Canada, *Innovation, Advanced Technologies and Practices in the Construction and Related Industries: Provincial Estimates*, Cat. No. 88F0006XIB01003.

Le Construction Industry Institute

Le Construction Industry Institute (CII) fut créé en 1983 par 28 grandes entreprises et établi à l'université d'Austin au Texas. Le CII est né des suites d'un rapport majeur sur les problèmes de l'industrie de la construction, produit par le Business Roundtable. Actuellement, le CII regroupe environ 80 entreprises, surtout des très grandes, qui sont tant des entreprises du secteur de la construction que des entreprises clientes. Le CII fait directement appel à 30 universités américaines dans ses travaux de recherche. Les entreprises intégrées en génie-conseil et construction forment les deux tiers de ses membres. Seul le secteur résidentiel n'est pas représenté au CII.

Le but poursuivi par le CII consiste essentiellement à augmenter la productivité de l'industrie de la construction. Pour y parvenir, il a recours à différents moyens, notamment des projets de recherche dits de démonstration réalisés par les entreprises membres, projets qui font l'objet d'un suivi et d'une analyse tant par ces dernières que par les chercheurs universitaires concernés et qui sont par la suite documentés. Pratiquement tous les projets de recherche ont recours à des chercheurs universitaires et à des étudiants diplômés. Ces projets permettent aux entreprises d'expérimenter de nouvelles méthodes de travail et d'en dégager des pratiques exemplaires. Plus de mille projets d'une valeur dépassant les 52 milliards de dollars US avaient été réalisés à la fin des années 1990. Le quart des projets ont été menés à l'extérieur des États-Unis et plus de la moitié ont été proposés directement par les entreprises clientes. Les deux tiers des projets étaient des projets industriels lourds (raffinerie, usine de pâtes et papiers, etc.), un peu moins de 20 % concernaient la construction de bâtiments et moins de 10 % étaient des projets d'infrastructures. L'une des missions importantes du CII est de diffuser ces pratiques exemplaires dans l'ensemble de l'industrie. Le CII s'est également associé au National Institute of Science and Technology dans l'ambitieux projet FIATECH, lequel sera décrit ultérieurement au chapitre sur les technologies de l'information.

Les moyens de diffusion du CII sont nombreux et diversifiés. Une conférence annuelle permet de présenter les résultats des projets aux membres du CII. Une seconde conférence annuelle semblable à la précédente s'adresse à un public plus large : entreprises non membres, universitaires et public en général.

Le CII a mis sur pied plus de 80 cours avec la participation de trois universités (du Texas, Clemson et d'Arizona). Ces cours s'adressent tant aux étudiants non diplômés qu'aux diplômés en formation continue. Ils ont été conçus sous forme de modules et peuvent être repris par les entreprises membres pour la formation de leur propre personnel. Les cours sont également accessibles aux entreprises membres par Internet. La durée des cours varie généralement entre quatre à huit heures.

Par ailleurs, le CII publie les résultats de ses travaux de recherche pour en favoriser l'apprentissage dans les entreprises. Des rapports de recherche, des guides, du matériel audiovisuel, des logiciels, etc., sont accessibles moyennant des frais aux entreprises tant membres que non membres. Bien entendu, les entreprises membres bénéficient de rabais.

Le CII vise aussi à réseauter les entreprises de l'industrie de la construction. C'est ainsi que le CII a favorisé de nombreux échanges entre les entreprises clientes et les entreprises du secteur de la construction. Ce dialogue a permis de définir des problèmes communs et de trouver des moyens de les résoudre. À la fin des années 1990, plus de 11 000 personnes avaient collaboré à divers titres dans les travaux du CII.

Plusieurs indicateurs permettent de mesurer l'impact du CII. Par exemple, depuis 1983, plus de 80 000 copies des différentes publications ont été distribuées aux entreprises membres et plus de 220 000 ont été vendues, en majeure partie à des entreprises non membres. Les publications traitent d'une vaste gamme de sujets : gestion des matériaux, qualité totale, sécurité, gestion des projets, codes à barres, contrôle des projets, contrôle des coûts et du calendrier de production, mesures de productivité, planification des projets, conception-construction, résolution des conflits, alliances internationales, etc. Les travaux du CII ont également un fort impact dans les universités par le biais de ces publications utilisées comme matériel de cours. Cependant, son impact le plus significatif s'observe chez les entreprises qui ont recours aux pratiques exemplaires dégagées à partir des projets de recherche. C'est ainsi qu'on a observé des réductions substantielles tant des coûts et du temps de réalisation des projets que du nombre d'accidents dans les entreprises qui ont mis ces pratiques en œuvre.

Les travaux du CII ont retenu l'attention de plusieurs pays. C'est ainsi que des représentants d'Australie, du Japon, de Corée, du Royaume-Uni et même du Canada ont visité le CII à Austin. Une organisation poursuivant des buts semblables a été créée en Australie, alors le Royaume-Uni a mis sur pied le European Construction Institute (ECI). Le CII a activement collaboré à la création de l'ECI, notamment en lui prodiguant ses conseils. Le CII et l'ECI collaborent sur différents sujets et ils ont établi une alliance formelle.

2.5 Constats

Le tour d'horizon précédent permet de dégager des constats majeurs :

- La construction est une activité beaucoup plus complexe qu'on ne l'imagine généralement ; en effet, le travail est réalisé avec un réseau temporaire composé de multiples firmes, ce qui rend difficile la gestion du projet.
- Jusqu'ici, la coordination des projets s'est surtout effectuée de manière informelle et décentralisée, ce qui favorise le report des problèmes aux acteurs qui suivent. Cela a pour effet d'engendrer un climat de confrontation. Il en découle également que les coûts augmentent, que la qualité en souffre et que les échéanciers sont le plus souvent repoussés.
- La préfabrication a suscité beaucoup d'espoir pour résoudre les nombreux problèmes du secteur. En effet, elle permet le recours à des méthodes de fabrication en usine dans des conditions mieux contrôlées. Cependant, à l'exception de la fabrication de maisons au Japon et en Suède, la préfabrication ne s'est jamais imposée massivement. Le recours aux TI a également suscité de l'intérêt au cours des années 1980 et 1990. Plusieurs logiciels furent utilisés par les entreprises du secteur de la construction. Cependant, l'utilisation des TI ne semble pas jusqu'ici avoir généré de gains de productivité. Par contre, le potentiel de la préfabrication et des TI demeure inexploité.
- Les obstacles à l'innovation dans l'industrie de la construction sont nombreux et difficiles à surmonter. Par exemple, le risque élevé en cas d'échecs rend les clients et les entrepreneurs hésitants face aux nouvelles technologies ainsi qu'aux nouvelles méthodes d'organisation du travail, et donc très réticents à les adopter. La multitude de petites firmes qui composent le secteur n'ont pas une capacité financière suffisante pour investir en recherche. De plus, même parmi le petit nombre d'entreprises de taille moyenne qui existent, celles employant une masse critique de personnel scientifique et technique sont rares. Le fait que le projet de construction réunit sur une base temporaire plusieurs entreprises rend la coordination très difficile. Par conséquent, il n'est pas simple d'introduire des innovations du type organisationnel. De plus, les entreprises n'ont pas de mémoire lorsque surviennent spontanément des innovations au cours des projets, de telle sorte que chaque firme doit continuellement réinventer la roue. Enfin, l'asymétrie qui s'observe actuellement dans l'allocation des bénéfices et des coûts dans le mode traditionnel de fonctionnement nuit à l'innovation ; en effet, les designers et les entrepreneurs supportent le poids d'un échec (réputation entachée, pénalités financières), alors que souvent seul le client profite du succès (par exemple sous forme de baisse des coûts).

- L'organisation déficiente du travail est clairement reconnue comme étant une cause majeure des difficultés que rencontre le secteur de la construction. Seulement le tiers des projets sont terminés à temps. Les dépassements de coûts sont fréquents, alors que la qualité et la sécurité posent problème. Pourtant, le constat est de plus en plus partagé et plusieurs initiatives ont été prises au cours des années 1980 et 1990 : mentionnons la conception-construction (*design-build*), le partenariat et la construction allégée (*lean construction*).
- La conception-construction gagne en popularité aux États-Unis. Elle permet de lier formellement la firme responsable de la conception et l'entrepreneur général et de créer une synergie entre les deux parties. Une seule entité juridique est responsable du projet, ce qui permet d'éviter les relations conflictuelles entre les acteurs. Une garantie de performance est offerte au client par l'entreprise responsable du projet, ce qui ne règle cependant en rien le problème de coordination des nombreux sous-traitants.
- Sous un régime de partenariat, tous les participants travaillent formellement de concert pour atteindre les objectifs initiaux : respect de l'échéance finale, assurance de la qualité et diminution des coûts. Cela implique un aplatissage de la structure hiérarchique, puisqu'on délègue davantage de responsabilités aux gens qui sont directement sur le chantier afin qu'ils règlent eux-mêmes les problèmes qui surgissent.
- Par la méthode de la construction allégée, on vise à planifier le travail avec minutie, à mieux contrôler la qualité et à résoudre les problèmes plutôt que de les transférer en aval. Cette méthode de travail s'appuie sur une meilleure communication entre les sous-traitants ainsi que sur une participation accrue des sous-traitants et des travailleurs. Elle permet notamment de mieux gérer les stocks.
- Les résultats du partenariat et de la construction allégée sont très probants : amélioration notable de la qualité, diminution du temps requis pour réaliser le projet et réduction des coûts et des conflits.
- Le succès de ces nouvelles pratiques organisationnelles semble reposer sur une coopération étroite entre les participants (soit les firmes de conception, l'entrepreneur général et les sous-traitants), un meilleur contrôle de l'ensemble du projet et de la qualité au moyen de cibles à atteindre et d'indicateurs variés pour évaluer la performance du projet sous plusieurs aspects. La performance du projet peut être améliorée lorsqu'on sollicite dès le départ la participation active du client et qu'on amène celui-ci à définir précisément ses besoins dès le départ.

- Un client exigeant et surtout compétent sur le plan technologique peut stimuler l'innovation dans l'industrie de la construction. Cependant, à l'exception du gouvernement et de quelques grandes firmes clientes qui disposent de personnel technique très qualifié, peu de clients peuvent jouer ce rôle.
- Le Québec semble avoir pris un certain retard en matière d'innovations organisationnelles. Plusieurs pays le devancent actuellement. C'est le cas notamment du Japon, des États-Unis et du Royaume-Uni. Dans ces deux derniers cas, les gouvernements ainsi que des universités et des organismes sans but lucratif travaillent activement à promouvoir les nouvelles pratiques auprès des entreprises. Or, rien de tel ne se fait présentement au Canada et au Québec. Ce retard pourrait bientôt pénaliser leurs firmes, d'abord sur les marchés internationaux (c'est le cas en particulier des firmes de génie-conseil), puis éventuellement même sur le marché intérieur, puisque celles-ci ne posséderont pas l'expertise des entreprises étrangères.
- Les entreprises québécoises souffrent également d'une difficulté à anticiper tant les marchés futurs que les technologies à venir. Elles sont moins nombreuses que les firmes ontariennes à élaborer des plans stratégiques ou à pouvoir déterminer les améliorations technologiques à apporter.

3 Le concept de construction durable

Issu du rapport de la commission Brundtland, le concept de développement durable repose sur le principe suivant : l'organisation sociale et technologique qui satisfait les besoins du présent ne doit pas compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs. La protection de l'environnement est au cœur du développement durable et elle constitue une priorité de plusieurs pays. Le Conseil a d'ailleurs publié sur ce thème un avis intitulé *Innovation et développement durable, l'économie de demain*.

Définition du concept

Le qualificatif « durable » appliqué au bâtiment prend toutefois, en français, une connotation qui lui confère un aspect statique. Au sens propre, la durabilité d'un bâtiment signifie son aptitude à résister au temps, alors que le concept de construction durable recouvre un éventail beaucoup plus large de préoccupations sociales, environnementales ou technologiques.

La première conférence internationale sur le thème de la construction durable s'est tenue en 1994, à Tampa aux États-Unis. Au cours de cette rencontre, Charles J. Kilbert a proposé une première définition du concept : « *The creation and responsible management of a healthy built environment based on resource efficient and ecological principles.* »

En règle générale, le concept de construction durable doit dépasser la seule étape d'érection du bâtiment et inclure toutes les phases de conception, de construction, d'exploitation et éventuellement de démolition et de récupération. Cette prise en considération du cycle de vie d'un bâtiment est qualifiée d'« approche globale » (« *from cradle to grave* », en anglais).

Une revue de l'évolution du concept de construction durable¹ permet d'identifier quatre grands ensembles de préoccupations, lesquelles chapeautent la recherche de solutions durables à chacune des étapes de réalisation d'un projet :

<i>Préoccupations sociales</i>	Qualité de vie, santé des occupants.
<i>Préoccupations économiques</i>	Réduction des coûts du bâtiment, intégration des coûts environnementaux.
<i>Préoccupations biophysiques</i>	Eau, énergie, matériaux, terrain.
<i>Préoccupations techniques</i>	Durabilité physique, qualité de la construction, revitalisation urbaine.

Quatre ordres de préoccupations : sociales, économiques, biophysiques et techniques

1. Richard C. Hill et Paul A., « Sustainable Construction: Principles and a Framework for Attainment » *Construction Management and Economics*, 15 (1997).

La compréhension du concept de construction durable peut toutefois varier d'un pays à l'autre. Alors que les pays développés mettent l'accent sur la dimension environnementale du concept, les pays en voie de développement y intègrent des préoccupations liées au développement, comme celle de l'équité.

3.1 Revue de quelques initiatives internationales

Le concept de développement durable appliqué au bâtiment est au centre de plusieurs initiatives dans les pays de l'OCDE ainsi que dans divers organismes internationaux.

L'Action 21 (« Agenda 21 ») pour le secteur du bâtiment est une initiative de l'International Council for Research and Innovation in Building and Construction (dont l'acronyme est CIB, pour Conseil international du bâtiment, ancien nom du Conseil international du bâtiment pour la recherche, l'étude et la documentation). Le CIB avait pour but de faire le pont entre les grandes initiatives internationales en matière de développement durable, telles que la commission Brundtland ou le Sommet de Rio, et les divers projets nationaux liés au bâtiment et à l'industrie de la construction.

L'Action 21 poursuit trois objectifs : définir un cadre global et une terminologie commune ; coordonner les différentes actions du CIB avec celles d'autres organismes spécialisés ; jeter les bases d'une définition commune des activités de R-D. Le tableau 3.1 résume les principaux enjeux et défis d'une construction durable, tels que le CIB les a définis.

*Enjeux et défis
d'une construction
durable*

Tableau 3.1
Principaux enjeux et défis d'une construction durable

Processus de construction	Bâtiment	Utilisation des ressources	Urbanisme
• Conception des bâtiments	• Qualité de l'environnement intérieur	• Efficacité énergétique	• Croissance urbaine
• Réingénierie du processus de construction	• Utilisation des matériaux	• Eau	• Gestion des déchets
• Standardisation et normalisation	• Recyclabilité	• Matériaux	
		• Territoire	

La construction durable a été au centre d'un projet triennal qui a mené au Congrès mondial du bâtiment en 1998 sous le thème de « Construction et environnement ». La commission W082 du CIB, « *Future studies in construction* », mise sur pied en 1995, a fait du développement durable le sujet central de ses travaux. Elle cherchait à répondre à la question « Quelles seront les conséquences du développement durable sur l'industrie de la construction d'ici à 2010? ». Ce projet d'envergure internationale s'est déroulé en quatre phases rassemblant des experts nationaux de chaque pays participant :

- *Phase 1* : Définition du concept de construction durable
- *Phase 2* : Réponses à cinq questions :
 - Quelle sorte de bâtiments construirons-nous en 2010 et comment adapterons-nous les bâtiments existants?
 - Comment allons-nous les concevoir et les construire?
 - Quels matériaux, services et composants allons-nous utiliser?
 - Quelles compétences et quels standards seront requis?
 - Quelles sortes de villes et d'établissements aurons-nous en 2010?
- *Phase 3* : Rapports nationaux
- *Phase 4* : Synthèse internationale

Le tableau 3.2 rapporte les principales conclusions de la synthèse internationale préparée pour l'ensemble des intervenants.

Tableau 3.2	
Principales recommandations du Conseil international du bâtiment	
Intervenants	Recommandations
Clients	Formuler des exigences environnementales à l'adresse des concepteurs.
Gouvernements	Soutenir la demande de solutions durables au moyen de la planification, de la réglementation, de la standardisation et des mesures fiscales.
Entrepreneurs	Sensibiliser les entrepreneurs aux impacts environnementaux du secteur de la construction, au moyen de la formation.
Concepteurs	Adopter une approche intégrée de la conception de bâtiment et interpréter l'étiquetage et les qualités environnementales des matériaux.
Manufacturiers	En coopération avec les concepteurs, créer des matériaux recyclables.
Chercheurs	Une partie importante des efforts de recherche vise à développer des outils permettant aux concepteurs de prendre en compte le concept de durabilité lors des prises de décisions.

*L'OCDE et le
bâtiment durable*

L'OCDE a conçu en 1998 un projet sur le « bâtiment durable » (*sustainable building*), dans le cadre des travaux d'un comité environnemental sur la prévention de la pollution. L'objectif du projet, d'une durée de quatre ans, est l'élaboration de politiques visant à réduire les impacts environnementaux négatifs des bâtiments et du secteur de la construction. Pour le comité, le concept de « bâtiment durable » doit prendre en compte l'ensemble du processus de construction et se définit comme l'ensemble des pratiques visant à atteindre une qualité totale du bâtiment dans une perspective très large incluant des considérations économiques, sociales et environnementales.

Dans les pays de l'OCDE, la demande s'oriente de plus en plus vers la qualité du bâtiment. Cette exigence des marchés devrait orienter les politiques visant à promouvoir les pratiques de construction durable. Les demandes des clients et les initiatives environnementales des entrepreneurs sont les éléments clés du marché que les gouvernements devraient encourager par des politiques appropriées.

Le projet propose cinq objectifs pour le bâtiment durable :

- *Efficacité dans l'utilisation des ressources*: sélection adéquate des matériaux, minimisation des déchets, recyclage des matériaux.
- *Efficacité énergétique*: le bâtiment est responsable du tiers de la consommation d'énergie dans les pays de l'OCDE, essentiellement à cause du chauffage.
- *Prévention de la pollution*: le bâtiment a un impact considérable sur l'environnement et sur la santé humaine.
- *Harmonisation avec l'environnement*: planification de l'utilisation du territoire et protection de l'environnement.
- *Approche systémique et intégrée*: les politiques de construction durable doivent couvrir tout le cycle de construction. Les approches systémiques doivent permettre de gérer tous les aspects environnementaux, autant lors de la conception qu'au moment de l'exploitation du bâtiment.

*Le développement
durable: une
préoccupation
dans l'industrie de
la construction
aux États-Unis*

Un symposium tenu à Washington en 1996 sous les auspices de la Civil Engineering Research Foundation (CERF) a réuni plus de 700 participants internationaux du secteur de la construction. Ceux-ci ont défini un programme de recherche destiné à inclure les concepts de développement durable dans les innovations technologiques de l'industrie de la construction. Des changements fondamentaux ont été jugés urgents et nécessaires dans la façon de concevoir et d'utiliser les infrastructures.

Le programme de recherche proposé est constitué de trente-huit projets s'étalant sur une période de deux à sept ans. Sa réalisation s'articule autour de sept grands thèmes :

- Application de standards internationaux et de critères de performance.
- Utilisation de projets de démonstration pour accélérer l'innovation.

- Développement de la base de connaissances de l'industrie.
- Rationalisation du processus de construction.
- Implantation de nouvelles méthodes et de nouveaux outils analytiques.
- Sensibilisation de l'industrie, du gouvernement et du public.
- Définition opérationnelle du concept de « durabilité ».

Le thème du développement prend le pas sur les préoccupations purement environnementales dans le rapport du CERF. La nécessité de construire des infrastructures durables y est subordonnée à des objectifs de développement économique et à des opportunités pour l'industrie.

Le National Science and Technology Council est responsable de la coordination des efforts de R-D aux États-Unis. À cette fin, il a mis sur pied en 1994 un sous-comité sur la construction et le bâtiment. Ce comité a élaboré un ensemble de cibles à atteindre pour l'industrie, les « *National Construction Goals* », sur lesquelles nous reviendrons plus en détail au chapitre 4. Les préoccupations écologiques y sont très présentes, ainsi que dans les différents plans sectoriels élaborés pour les atteindre.

Au Royaume-Uni, le UK Department of the Environment, Transports and Regions a publié un document consultatif intitulé *Sustainable Construction*, qui s'inscrit dans le cadre d'une consultation plus vaste visant à définir des stratégies nationales de développement durable. Il a choisi l'industrie de la construction comme sujet privilégié de consultation à cause de ses impacts considérables : les bénéfices escomptés d'une construction plus efficace et plus durable sont considérés comme potentiellement immenses.

De cette consultation est née une stratégie nationale, « *Building a Better Quality of Life: A Strategy for More Sustainable Construction* », qui définit des champs d'action prioritaires et suggère des indicateurs et des cibles pour mesurer les progrès accomplis. Les objectifs de la stratégie sont de :

- promouvoir et faire comprendre le concept de construction durable ;
- exposer les attentes gouvernementales en matière de contribution de l'industrie au développement durable ;
- montrer comment les politiques gouvernementales vont stimuler le changement ;
- susciter des actions qui permettent à l'industrie de mesurer son progrès vers une construction durable.

La politique britannique place la compétitivité des entreprises et l'utilisation optimale des ressources au cœur des enjeux d'une construction durable.

Une stratégie nationale de développement durable au Royaume-Uni

3.2 La situation au Canada et au Québec

*Améliorer
l'efficacité
énergétique
des bâtiments*

Le concept de construction durable commence à faire son apparition dans le discours public, tant au Canada qu'au Québec. La plupart des interventions gouvernementales dans ce domaine visent l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments et, depuis quelques années, la réduction des gaz à effet de serre. La composante environnementale guide donc largement l'intervention publique.

Le programme Initiative des bâtiments fédéraux (IBF) de l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada a pour objectif d'aider les ministères et les organismes fédéraux à réduire leur consommation d'énergie et d'eau, de même que leurs émissions de gaz à effet de serre. C'est un programme d'information et de soutien auprès des gestionnaires, qui fait la promotion de partenariats public-privé pour la réalisation de travaux permettant d'améliorer les installations. Les ministères sont responsables des contrats exécutés par des entrepreneurs sélectionnés. Le coût des rénovations est payé à même les économies d'énergie².

Le Programme d'encouragement pour les bâtiments commerciaux (PEBC) de Ressources naturelles Canada offre un appui financier pouvant atteindre 60 000 \$ pour l'intégration de caractéristiques écoénergétiques dans la conception de nouveaux bâtiments commerciaux et institutionnels. Les projets admissibles doivent respecter des exigences supérieures de 25 % à celles du Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments, lequel fixe les normes minimales d'efficacité énergétique pour la construction de bâtiments commerciaux. Un programme semblable existe pour les bâtiments industriels, le Programme d'encouragement pour les bâtiments industriels (PEBI), avec des subventions pouvant atteindre 80 000 \$³.

Dans le secteur résidentiel, le programme ÉnerGuide propose aux propriétaires de procéder à un bilan énergétique de leur maison et de recevoir de l'information sur les meilleures pratiques de conservation d'énergie. Le Programme R-2000 fait la promotion de maisons certifiées R-2000, une norme d'efficacité énergétique et de qualité de l'air ambiant. L'essai et la certification de maisons neuves ainsi qu'un volet de formation à l'intention des constructeurs complètent ce programme.

En février 2001, le ministère canadien des Travaux publics et Services gouvernementaux, responsable du parc immobilier fédéral, s'est doté d'une politique de développement durable. Parmi les objectifs de cette politique qui touchent plus particulièrement les bâtiments, on note la réduction des gaz à effet de serre, l'efficacité énergétique et la mise en place de systèmes de gestion des immeubles compatibles avec la norme ISO 14001.

*Le programme
fédéral ÉnerGuide
dans le secteur
résidentiel*

2. Voir le site Web http://oee.nrcan.gc.ca/ibf/page_daccueil.cfm?PrintView=N&Text=N?text=N?text=Y.

3. Voir les sites Web <http://cbip.nrcan.gc.ca/pebc.htm> et <http://cbip.nrcan.gc.ca/pebi.cfm>.

Le Groupe du bâtiment d'Énergie et Ressources Canada a mis sur pied le Plan pour l'avancement de la technologie énergétique dans le bâtiment (Plan BETA). Quatre programmes de recherche font partie du plan : énergie solaire passive, domotique, maison performante et bâtiments commerciaux performants.

La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) gère un ensemble de programmes qui cherchent à accroître l'accessibilité du logement ou les adaptations nécessaires pour le maintien à domicile. De nature sociale, ces programmes peuvent s'inscrire dans une perspective de développement durable. Par exemple, le programme Logements adaptés pour les aînés autonomes (LAAA) vise le maintien à domicile des personnes âgées par l'octroi de subventions pour la réalisation de modifications mineures au logement. Ces programmes sont pour la plupart destinés à des personnes à faible revenu.

Les ministères de l'Environnement du Québec et celui des Ressources naturelles du Québec ont publié en 2000 un plan d'action sur les changements climatiques qui comporte un objectif de réduction de 20 % d'ici à 2008 du niveau des émissions de gaz à effet de serre en provenance des bâtiments publics. Le parc immobilier public du Québec compte 14 000 bâtiments répartis en quatre grandes catégories : réseau des services sociaux, réseau de l'éducation, bâtiments administratifs et habitations à loyer modique⁴.

L'Agence de l'efficacité énergétique est responsable de différents programmes ciblant les secteurs résidentiel, commercial, institutionnel et industriel. Le Programme d'interventions dans le secteur institutionnel cherche à diminuer la consommation énergétique des bâtiments institutionnels du Québec. À la différence de l'IBF, ce programme comprend une aide financière réservée aux analyses énergétiques (jusqu'à 1 000 \$) et aux études de faisabilité (jusqu'à 10 000 \$).

Le Programme de promotion à de l'efficacité énergétique comporte des projets de démonstration. Un exemple très intéressant tiré de ce programme est celui de l'aménagement du territoire dans une perspective de développement durable. Ce projet a l'avantage d'intégrer le bâtiment à son environnement lors de l'évaluation de ses performances énergétiques.

Dans le secteur résidentiel, l'Agence de l'efficacité énergétique gère le programme Novoclimat. Ce concept, qui ressemble au concept R-2000 décrit plus haut, et mise sur des caractéristiques d'isolation et de qualité de l'air supérieures. Ce programme suit sensiblement les mêmes modalités que le Programme R-2000.

La Société immobilière du Québec (SIQ) est responsable de la gestion du parc immobilier du gouvernement du Québec, constitué de plus de mille édifices répartis sur l'ensemble du territoire. Elle a mis sur pied un système de gestion environnementale dont la première étape consiste à établir une base de données sur les mesures environnementales propres au secteur immobilier.

*Au Québec, un plan
d'action sur les
changements
climatiques*

*La gestion
environnementale
du parc immobilier
par la SIQ*

4. Voir le site Web <www.menv.gouv.qc.ca/chronique/2000/oct-nov/001027_changements-clim1.htm>.

Rôle des municipalités

La Société d'habitation du Québec (SHQ) gère le Programme de revitalisation des vieux quartiers, de même que des programmes d'accessibilité au logement qui s'adressent aux familles à faible revenu et s'inscrivent dans une vision de développement durable.

Les municipalités sont souvent les maîtres-d'œuvre des programmes provinciaux ou fédéraux et elles conçoivent également des programmes de revitalisation ou de rénovation urbaine. Ces programmes prennent souvent la forme de subventions à la rénovation qui peuvent être bonifiées pour des secteurs ciblés.

À l'exclusion des programmes d'efficacité énergétique, la majorité des programmes liés à l'habitation consistent en subventions à la rénovation ou en aides à l'accessibilité au logement. Ils ne posent pas d'exigences en matière d'innovation technologique du bâtiment. Ces programmes peuvent pourtant atteindre des sommes considérables. Ainsi, le Programme AccèsLogis de la Société d'habitation du Québec comporte une enveloppe quinquennale de 250 millions de dollars.

3.3 Les principaux enjeux

Les enjeux d'une construction durable

La revue succincte de différentes initiatives internationales et de quelques programmes nationaux permet de dégager un certain nombre de constantes dans l'élaboration d'une stratégie de promotion d'une construction durable :

- le processus de construction doit être envisagé globalement, de la planification d'un projet de construction jusqu'à la planification des environnements urbains;
- la composante environnementale du développement durable reste la plus importante pour les pays développés;
- l'industrie de la construction est presque partout fragmentée et peu informée du concept de développement durable ou de construction durable;
- il existe un sentiment d'urgence en faveur du développement d'industries de la construction nationales capables d'affronter la compétition sur des marchés qui s'internationalisent et qui s'orientent de plus en plus vers des solutions en accord avec l'environnement.

La rencontre de deux domaines transversaux comme la construction et le développement durable ouvre des pistes d'intervention extrêmement complexes pour les décideurs publics. Ces différentes avenues s'articulent toutefois autour d'un certain nombre d'enjeux communs. Nous en retiendrons cinq qui s'inscrivent dans les différentes phases du processus de construction :

- le choix écologique des matériaux (production manufacturière et conception);
- le bâtiment et l'environnement (construction-démolition);

- le bâtiment et la santé (occupation);
- l'urbanisme et l'aménagement du territoire (planification urbaine);
- la rénovation (occupation et planification urbaine).

Ces cinq enjeux peuvent être repris pour en expliquer la portée et les illustrer par des exemples pratiques.

Le choix écologique des matériaux

Le concept de bâtiment durable (on parle aussi de « bâtiment vert » ou « *green building* ») vise non seulement à réduire au minimum les sources de pollution inhérentes à la construction de bâtiments, mais également à intégrer le concept de développement durable à toutes les phases de conception et d'exploitation du bâtiment. Il faut que la conception du bâtiment et le choix des matériaux se fassent en fonction de la durabilité de ces derniers, de leur impact sur l'environnement et de leur recyclage éventuel au moment de la démolition.

Par exemple, dans le choix des matériaux on doit tenir compte d'un ensemble de facteurs environnementaux comme la quantité d'énergie requise pour extraire ces matériaux et les transformer, le coût environnemental associé à leur transport s'ils sont éloignés du site de la construction ou encore leur potentiel de recyclage. La production de matériaux comme l'aluminium ou le plastique nécessite d'importantes quantités d'énergie, ce qui inciterait à en réduire l'utilisation. Les matériaux composites, qui combinent différents matériaux, sont, quant à eux, plus difficiles à recycler.

Le choix optimal des matériaux pouvant donc devenir rapidement complexe, des outils sont nécessaires pour assister les concepteurs de bâtiments. L'une des approches consiste à recourir à des certifications qui attestent que les matériaux sont « verts ». Aux États-Unis, le Forestry Stewardship Council élabore actuellement une certification dans le domaine du bois de construction pour en assurer la récolte écologique. Au Canada, les normes CAN-CSA sont basées sur les normes ISO 9000, sur le contrôle de la qualité, et ISO 14000, sur l'environnement. Les normes ISO 14000, en particulier ISO 140001 sur l'étiquetage (*labeling*), ne pénètrent que très lentement en Amérique du Nord. Ce type de certification touche actuellement surtout le bois, mais pourrait s'étendre à d'autres matériaux.

Une autre approche consiste à calculer, à l'étape de la conception, la charge écologique représentée par le bâtiment. L'Athena Sustainable Materials Institute (Institut Athena pour les matériaux durables), situé en Ontario, est issu de projets de recherche du groupe Forintek, projets initialement financés par le ministère des Ressources naturelles du Canada. Son financement actuel provient de contributions directes des membres, d'un appui additionnel de Forintek, du ministère des Ressources naturelles Canada et du Département de l'énergie des États-Unis, où se trouve la société mère. L'institut Athena offre des services de

*Le « bâtiment vert »
pour réduire
les sources de
pollution liée
à la construction*

consultation aux entreprises désireuses d'optimiser la conception de leur bâtiment. Il a produit un logiciel basé sur le principe de l'approche globale ou cycle de vie. Ce logiciel calcule la charge écologique de chaque matériau utilisé dans un bâtiment. Il permet de calculer dès l'étape de la conception le coût associé aux différents choix de matériaux effectués par le concepteur. La base de données permet par exemple de tenir compte des variations dans les coûts de transport ou d'électricité selon différentes localisations géographiques.

Le bâtiment et l'environnement

L'impact environnemental de l'industrie de la construction se manifeste particulièrement sous deux formes : la production de déchets solides aux étapes de la construction et de la démolition et l'utilisation de diverses ressources naturelles (eau, énergie) durant la période d'utilisation des bâtiments.

La gestion des déchets solides

Au milieu des années 1990, l'industrie de la construction était responsable d'environ 30 % des déchets dans les pays industrialisés. On estimait alors à environ 2 milliards de tonnes le total des déchets produits par les pays de l'OCDE et la construction est l'une des industries qui en produisent le plus.

En 1996, le Québec a généré 8,3 millions de tonnes de matières résiduelles, dont 32 % provenaient de l'industrie de la construction. Seulement 35 % des déchets de construction sont récupérés, alors que 91 % du total est récupérable. Le Plan d'action sur la gestion des matières résiduelles du ministère de l'Environnement fixe à 60 % l'objectif de récupération d'ici à 2008. Les activités de recherche dans le domaine de la gestion et de la mise en valeur des résidus seront soutenues par un programme annuel de 1,5 million de dollars, visant la création ou la mise au point de nouvelles technologies. Ce programme sera sous la responsabilité de Recyc-Québec.

Plusieurs programmes d'efficacité énergétique cherchent à promouvoir les économies d'énergie. Ils se sont développés en réponse à la crise de l'énergie du début des années 1970. La récente crise de l'énergie en Californie a d'ailleurs remis cette question à l'ordre du jour. Depuis quelques années, les études sur les changements climatiques ont ciblé l'émission des gaz à effet de serre, un phénomène étroitement lié à l'utilisation de combustibles fossiles, particulièrement dans le domaine du bâtiment, à des fins de chauffage et de climatisation.

L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'une des sources d'énergie renouvelables qui comprennent le plus d'applications potentielles dans le domaine du bâtiment. Les techniques d'exploitation de l'énergie solaire dites passives (solaire passif) font appel à la conception et à l'orientation des bâtiments afin de récupérer la chaleur et la lumière solaire. Ces méthodes sont relativement simples et exploitent au maximum les caractéristiques architecturales et environnementales des bâtiments. Les techniques actives (solaire actif) récupèrent, concentrent et stockent l'énergie thermique du soleil à l'aide d'absorbeurs et de fluides

caloporteurs, en vue de chauffer l'air ou l'eau. Plus d'un million de chauffe-eau à l'énergie solaire ont été installés aux États-Unis dans les résidences⁵.

L'une des nouvelles technologies solaires appelées à un avenir prometteur est celle de l'énergie photovoltaïque, surtout réservée, jusqu'à maintenant, à l'alimentation des satellites ou des stations de télécommunications éloignées. Les cellules photovoltaïques convertissent l'énergie solaire en électricité. On les retrouve dans des panneaux photovoltaïques qui s'intègrent à l'architecture du bâtiment, soit dans le toit, soit dans l'enveloppe. L'efficacité de ces panneaux reste cependant encore relativement faible. Quelques pays, comme le Japon, les États-Unis et l'Allemagne, se sont dotés de programmes encourageant l'installation de panneaux sur le toit des bâtiments résidentiels ou commerciaux. Ils cherchent de cette façon à stimuler la demande, à réduire les coûts de production et à favoriser ainsi l'émergence d'une véritable industrie. Le Laboratoire de recherche en diversification énergétique de CANMET, situé dans la région de Montréal (à Varennes), est actif dans ce domaine. La compagnie ICP Global Technologies, de Montréal est également un acteur important dans la fabrication et la diffusion de ce type de technologie⁶.

*Une nouvelle
technologie solaire*

L'utilisation de la chaleur solaire ne peut pas être efficace, surtout en climat nordique, sans une isolation suffisante pouvant la retenir. La déperdition de chaleur dans les maisons se fait surtout par les murs et par le plafond. L'une des nouvelles technologies d'isolation parmi les plus prometteuses est celle des panneaux d'isolation sous vide. Ce type d'isolant prévient la déperdition de chaleur en créant des conditions proches du vide qui réduisent la conductivité thermique du matériau. Ces isolants font l'objet d'un programme de recherche international piloté par l'Agence internationale de l'énergie et auquel participe l'Institut de recherche en construction d'Ottawa.

*L'isolation
thermique*

Le bâtiment et la santé

Selon le CIB, des coûts en soins de santé et en baisse de productivité sont associés à une mauvaise qualité de l'environnement intérieur des bâtiments. Ces coûts seraient très élevés et dépasseraient largement les coûts de consommation d'énergie⁷. On décrit cette réalité sous le terme « syndrome du bâtiment malsain » (« *sick building syndrome* »). L'environnement insalubre est surtout attribuable à une mauvaise qualité de l'air et compte parmi les principaux suspects responsables de l'augmentation des allergies et des maladies respiratoires⁸. Il ne serait pas toujours associé à des conditions de ventilation inadéquates.

*Le syndrome du
bâtiment malsain*

5. Charles J. Kibert, *Reshaping the Built Environment*, Island Press, 1999.

6. Lisa Dignard-Bailey, *Situation présente et évolution du photovoltaïque au Canada – Rapport annuel de CANMET*, 2000.

7. CIB, *Agenda 21 on Sustainable Construction*, 1999.

8. *Ibid.*

Les principales sources de pollution intérieure sont les matériaux de construction capables d'émettre des gaz (p. ex. le formaldéhyde), les activités se déroulant à l'intérieur des bâtiments, comme la production d'ozone par des appareils électriques, les occupants qui peuvent véhiculer des contaminants biologiques, la présence d'humidité et de moisissures ainsi que la pollution extérieure, par exemple des émissions de CO₂ aspirées par les systèmes de ventilation.

*Des coûts en santé
prohibitifs*

Le lien entre la santé et les bâtiments demeure difficile à établir en raison du faible niveau d'émissions ou d'exposition des occupants. Cependant, les citoyens passent près de 90 % de leur temps à l'intérieur⁹ : le problème de la qualité de l'air ambiant devient aussi sérieux que celui de la pollution atmosphérique. L'incertitude scientifique entourant le diagnostic de salubrité des bâtiments entrave le développement de solutions architecturales ou technologiques fiables et mesurables qui permettraient au bâtiment de jouer un rôle dans l'amélioration de la santé publique. Ce nouveau créneau ouvre des pistes de recherche stratégiques si l'on considère leurs bénéfiques potentiels sur la réduction des coûts de santé. Les rapports de la conférence Healthy Buildings 2000, qui s'est tenue à Espoo en Finlande, font état d'estimations en gains de productivité associés à une meilleure qualité de l'air pouvant atteindre de 6 à 14 milliards de dollars aux États-Unis¹⁰.

Il convient également de mentionner certaines applications de la domotique (sujet sur lequel nous reviendrons) qui peuvent venir appuyer le réseau de la santé en facilitant par exemple le maintien à domicile de personnes en perte d'autonomie.

L'urbanisme et l'aménagement du territoire

Au fil des ans, le patrimoine bâti peut se détériorer et les problèmes environnementaux ne sauraient être enrayerés sans des efforts visant spécifiquement les villes. L'efficacité énergétique, l'ergonomie du bâtiment, les impacts sur la santé, l'environnement et le milieu social (par exemple, les préoccupations sociales liées au logement) sont également des enjeux qui font partie intégrante de la conception et de la construction de nouveaux bâtiments ou de la réfection du stock existant.

La planification et l'aménagement du territoire doivent être intégrés au processus de construction. En effet, à quoi sert-il de construire un bâtiment écologique si le seul moyen d'y accéder reste l'utilisation de moyens de transport polluants comme l'automobile? La construction durable est indissociable de l'urbanisme. Les deux exemples suivants montrent comment l'aménagement du territoire urbain se combine avec la construction pour engendrer des solutions durables.

9. *Ibid.*

10. *Indoor Air Review*, 4 (automne 2000).

Le Greenwich Millenium Village, à Londres, est un exemple de planification et de développement urbain écologique. Il constitue une vitrine des innovations en construction durable et se présente comme un modèle de l'urbanisme du futur. Le projet, résultat d'un partenariat public-privé d'une envergure de 500 millions de dollars, comprend 1400 unités de logement, dont 20 % à loyer modique, et près de 5000 m² d'espaces commerciaux. Les habitations furent construites selon des standards très élevés et incluent des technologies avancées de conservation d'eau et d'énergie. On y a donné priorité à l'utilisation de composants préfabriqués. Les appels d'offres ont été rédigés de façon à atteindre un certain nombre de cibles de performance. Le dôme du millénaire faisait partie de l'ensemble projeté; sa faillite est cependant venue entacher la renommée du projet.

Greenwich Village

Le terme « *brownfields* » désigne des terrains à vocation industrielle ou commerciale abandonnés en raison de leur contamination. Ce terme a été créé à l'occasion d'une conférence tenue en 1991 à Chicago sous le thème du recyclage de bâtiments anciens. Des audiences du Congrès en ont résulté. Elles ont porté sur les barrières environnementales à la restauration des sites urbains et de nombreux encouragements fiscaux ont été développés pour soutenir les initiatives liées à ce type d'activité. Le Chicago Brownfields Forum a été mis sur pied afin de définir les freins à la revitalisation des sites contaminés et d'agir à titre de comité consultatif auprès des autorités municipales. Une série de projets pilotes servant de laboratoire au Forum ont également été mis en œuvre. Ils ont finalement démontré que l'acquisition de ces terrains et leur revitalisation étaient économiquement souhaitables malgré les perceptions initiales. De nouveaux champs de recherche économique et sociale viennent maintenant valider la viabilité économique de ce type de projet urbain.

La restauration de sites contaminés

Au Québec, la présence du gouvernement dans le domaine de la revitalisation des quartiers s'est manifestée surtout par des initiatives basées sur la construction et la rénovation d'édifices en vue de regrouper des entreprises spécialisées en technologies de l'information (les cités du commerce électronique et du multimédia, par exemple). Le programme de réhabilitation de terrains contaminés en milieu urbain Revi-sols dispose d'une enveloppe quinquennale de 40 millions de dollars pour les villes de Montréal et Québec, et de 50 millions pour les autres municipalités du Québec. Le technopôle Angus (voir encadré plus loin) est l'un des meilleurs exemples de revitalisation urbaine sur un site contaminé.

Au Québec

Les travaux de rénovation

En dépit de l'accroissement des travaux de rénovation dans l'industrie de la construction, nous n'avons pas trouvé d'études ni d'initiatives majeures qui pourraient nous éclairer sur les rapports qui existent entre la rénovation de bâtiments et l'innovation ou, plus précisément, entre la rénovation et l'utilisation des systèmes de construction, des composants préfabriqués ou des technologies

de l'information. La rénovation de bâtiments prend souvent la forme de « réparations » et il semble y avoir une lacune dans la définition du concept de rénovation¹¹. Le CIB a mis sur pied la commission TG34, portant le nom de *Regeneration of the Built Environment*, mais celle-ci n'a pas encore publié de résultats. Une conférence sur ce thème était prévue en septembre 2002.

*Des perceptions
opposées eu égard
à la rénovation*

Les travaux de rénovation peuvent être perçus de façon diamétralement opposée en ce qui regarde l'innovation dans les pratiques de construction. D'un côté, ils apparaissent comme un moyen de perpétuer des méthodes classiques traditionnelles de construction, un encouragement au travail au noir ou à l'exécution de travaux par des propriétaires non spécialisés. D'autre part, ils améliorent la qualité des habitations, stimulent l'adoption de nouveaux matériaux et s'avèrent moins coûteux en règle générale que les travaux de démolition et de reconstruction. À cet égard, signalons que des spécialistes britanniques en construction en mission au Japon se sont étonnés de voir que le taux de démolition-reconstruction y était beaucoup plus élevé qu'en Grande-Bretagne où la rénovation est privilégiée¹². Durant la période 1965-1990, le Japon a démoli 20 millions d'habitations et en a construit 41 millions durant la même période. Cette approche a eu pour effet de réduire considérablement l'âge moyen du stock de logements.

*Méthode
d'évaluation
des travaux
de rénovation*

Le réseau européen e3building a tenu un congrès en 2001, à Vienne, sur la rénovation de bâtiments¹³. Durant l'événement, les participants ont élaboré une méthode d'évaluation des travaux de rénovation qui tient compte de l'ensemble des caractéristiques d'un bâtiment. Une telle méthode comprendrait trois éléments :

- *l'adoption de critères de préservation des bâtiments* qui permettent de prendre une décision objective quant à la rénovation ou la démolition, et dont les principaux paramètres seraient le coût des travaux, les défauts de la construction et l'état de l'infrastructure sociale et urbaine entourant le bâtiment ;
- *l'accroissement de la valeur du bâtiment* : une fois prise la décision de rénover, il permettrait d'envisager différents scénarios des bénéfices escomptés selon une perspective de court, moyen ou long terme ;
- *l'amélioration des différents sous-systèmes du bâtiment*, en relation avec les normes en vigueur. La mise à niveau de ces sous-systèmes avec la structure des vieux bâtiments peut poser des problèmes techniques importants.

11. Voir « Industrial prefabrication: Buildings mass-produced or made to measure? », *e3building – 6th Austrian Workshop*, Vienne, 2001.

12. D. Bottom *et al.*, *Innovation in Japanese Prefabricated House-Building Industries*, CIRIA, SP139, 1996.

13. « Renovation of buildings constructed in recent decades », *e3building – 2nd Austrian Workshop*, Vienne, 2001.

Il faudrait en outre considérer la rénovation du bâtiment en relation avec son environnement et non seulement en fonction de son architecture. Un système de subventions à la rénovation devrait en tenir compte. Dans la mise sur pied de programmes, il serait donc préférable de considérer des plans d'ensemble de rénovation urbaine plutôt que des aides ponctuelles à la rénovation.

Au Québec, les programmes existants d'aide à la rénovation dans le domaine résidentiel visent surtout les logements très détériorés et les ménages à faible revenu. Ils cherchent à remédier aux problèmes de santé qui peuvent résulter de l'occupation de logements insalubres. L'aide à la rénovation est plutôt vue comme un dernier recours. Le programme PAREL de la SCHL est le principal outil conçu pour venir en aide aux propriétaires occupants et aux propriétaires de logements locatifs. Donnant suite à une entente, la Société d'habitation du Québec (SHQ) administre les fonds du PAREL à l'intérieur du Programme de revitalisation des vieux quartiers (PRVQ).

Le PRVQ, qui sera remplacé en 2003 par le nouveau programme Rénovation Québec, est un programme cadre qui s'adresse aux municipalités; ces dernières ont la responsabilité de déterminer les montants qui seront accordés aux rénovateurs. Le programme demande aux propriétaires de participer à hauteur de 30 % au coût des travaux. Ces subventions peuvent être assez généreuses : dans le cas de la Ville de Montréal, elles varient entre 50 % et 75 % des dépenses admissibles selon les circonstances. L'admissibilité au programme repose sur la présence d'une déficience importante dans l'un des sous-systèmes de bâtiment. Les travaux doivent être exécutés par des entrepreneurs certifiés.

La SHQ a financé une série de projets de recherche et d'analyse sur la rénovation résidentielle au Québec et a constitué une base de données sur le sujet en 1997. Ces projets avaient pour but de déterminer le profil socio-économique des ménages qui rénovent leur résidence et le type de rénovation entrepris, l'objectif étant de mieux connaître la demande en rénovation et d'orienter les politiques d'habitation en conséquence. Un résultat intéressant concerne le recours à des contractuels pour la réalisation des travaux. On a ainsi constaté qu'un niveau de revenu élevé ou le coût élevé d'une maison ont un impact positif sur les montants versés à des contractuels¹⁴. Si l'embauche d'entrepreneurs certifiés permet de s'assurer d'une main-d'œuvre compétente, elle ne garantit pas pour autant l'introduction d'innovations ou l'amélioration de l'organisation du travail. Le danger est de confondre bâtiment neuf ou rénové avec bâtiment innovant. Les enquêtes de la SHQ ne comportent pas de données sur le profil des contractuels. Il serait intéressant d'actualiser ces enquêtes de manière à mieux déterminer la part respective du design et de la gestion de projets lors d'une rénovation, et plus particulièrement l'apport des architectes et des autres professionnels du bâtiment.

*Programmes
québécois d'aide
à la rénovation*

*Les programmes
de la SHQ*

14. Julie Turcotte, *Analyse multivariée de la rénovation résidentielle au Québec*, CIRANO, 2000.

D'autres programmes de la SHQ visent l'amélioration de l'accessibilité à la propriété, particulièrement suivant le mode coopératif. Ces programmes accordent également une aide à la rénovation d'un bâtiment ciblé. Nous avons déjà fait mention, d'une part, des différents plans de revitalisation de zones urbaines qui marient rénovations et constructions neuves et, d'autre part, des programmes de rénovation qui ciblent surtout les économies d'énergie et s'adressent autant aux bâtiments résidentiels qu'aux non résidentiels. Mais il n'existe pas à notre connaissance de politiques ou de programmes de subventions à la rénovation, intégrés à des projets de rénovation urbaine, qui adoptent une approche globale et une perspective d'accroissement à long terme de la valeur des bâtiments au moyen des innovations technologiques.

*Aménagement
urbain*

C'est une question qui relève en grande partie de la gestion urbaine. Elle dépasse le cadre de cet avis, tout comme la question des liens qui existent entre les politiques d'habitation et l'innovation technologique dans le bâtiment. Mais il est clair qu'il s'agit là de domaines où l'apport de la R-D est assez mal connu. Nous avons cependant observé que plusieurs organismes nationaux voués à la recherche sur le bâtiment (par exemple le BRI au Japon) ont vu leur mandat modifié pour inclure des préoccupations liées à l'aménagement urbain. Le bâtiment n'est plus considéré comme une structure discrète, mais comme le constituant de base du tissu urbain. Au Danemark, par exemple, pays à l'avant-garde en matière de rénovation urbaine, six ministères se sont associés pour gérer une politique de rénovation des ensembles de logement à l'intérieur d'une politique « intégrée »¹⁵.

3.4 De nouvelles approches

Ce bref survol des principaux enjeux d'une construction durable montre l'étendue et la complexité des phénomènes affectant l'ensemble du cycle de vie d'un bâtiment. Les possibilités d'innover dans les façons de faire sont par conséquent considérables.

*Innovation
et développement
durable*

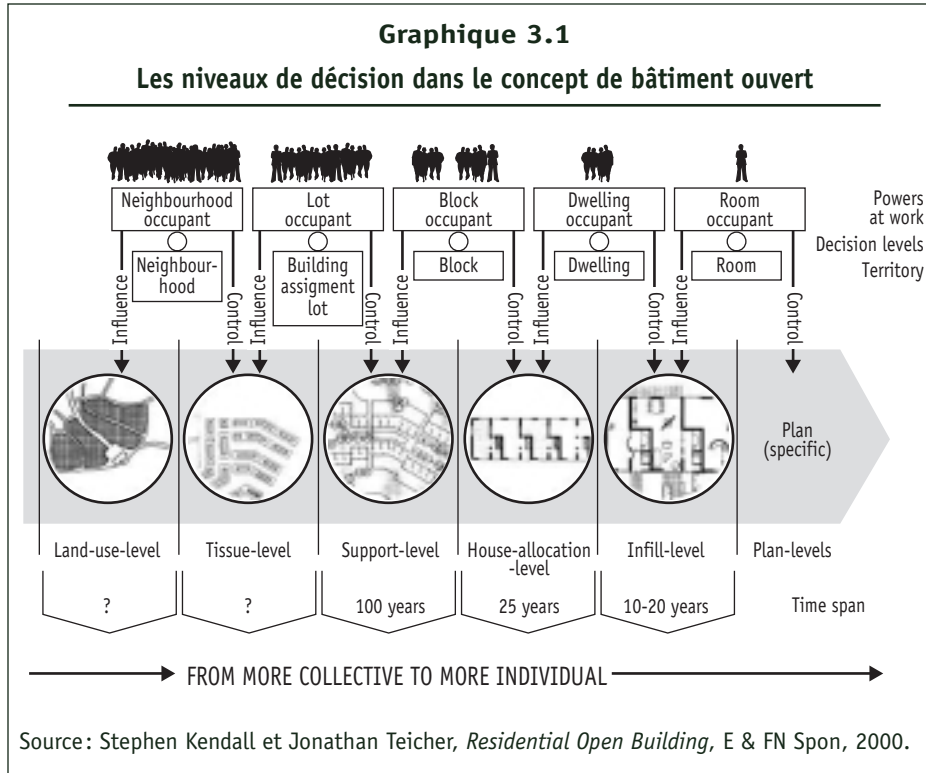
Le Conseil a déjà évoqué les liens qui unissent innovation et développement durable¹⁶ et qui trouvent dans le secteur du bâtiment un champ d'application particulièrement prometteur. Qu'il suffise de considérer le degré d'intégration de technologies, issues de différentes disciplines, qui caractérise n'importe quel bâtiment et l'ensemble des préoccupations sociales et économiques liées à son fonctionnement.

De nouvelles approches sont nécessaires afin que les exigences du développement durable soient satisfaites dans le secteur du bâtiment. L'une de ces approches prend appui sur le concept de bâtiment ouvert (*open building*); elle cherche à construire des bâtiments qui s'adapteront aux besoins évolutifs de leurs

15. *La politique de logement dans les États membres de l'Union européenne*, document consulté sur le site Web <www.europarl.eu.int/workingpapers/soci/w14/text1_fr.htm>.

16. *Innovation et développement durable, l'économie de demain*, Conseil de la science et de la technologie, 2001.

occupants et à répondre aux enjeux qui viennent d'être évoqués. Elle inscrit le bâtiment dans une structure hiérarchique de niveaux de décision et de sous-systèmes techniques qui intègrent celui-ci au tissu urbain (graphique 3.1). Chaque sous-système est doté d'un cycle de vie qui lui est propre et qui peut être modifié sans que les niveaux supérieurs en soient affectés.



Les méthodes du bâtiment ouvert favorisent particulièrement la production de composants préfabriqués qui sont assemblés sur le chantier. Ces composants peuvent être démontés et réutilisés plus facilement que ceux qui doivent être détruits à la démolition d'un bâtiment. Cette nouvelle tendance vers la préfabrication fera l'objet du chapitre suivant.

3.5 Constats

- Le concept de construction durable est au cœur des initiatives de plusieurs pays désireux de revitaliser leur industrie de la construction ou d'orienter la recherche. Le concept de cycle de vie d'un bâtiment permet de présenter une vision globale du bâtiment et recouvre le processus de construction, l'environnement urbain occupé par le bâtiment et les services destinés aux occupants.
- L'industrie de la construction en général, et le secteur du bâtiment en particulier, représente l'une des plus importantes sources de pollution. Les méthodes classiques traditionnelles de construction et de gestion du processus de construction favorisent un gaspillage de ressources. L'industrie, surtout chez les petits entrepreneurs, est généralement peu au fait des considérations environnementales liées par exemple au protocole de Kyoto, ce qui rend la mise en œuvre de pratiques durables plus difficile à réussir. La recherche de l'efficacité énergétique des bâtiments s'est par contre avérée un moteur puissant pour l'adoption d'innovations.
- Les projets de démonstration sont parmi les moyens les plus souvent retenus pour exposer et diffuser les innovations technologiques liées à l'efficacité énergétique ou au comportement des matériaux. Ils font d'ailleurs largement l'objet de recommandations dans la plupart des études portant sur l'amélioration des performances globales des bâtiments.
- Des programmes gouvernementaux, particulièrement au Québec, sont destinés à favoriser l'accès à un logement adéquat ou à la revitalisation de zones urbaines et s'inscrivent dans le cadre de préoccupations sociales associées au développement durable. Il n'existe toutefois pas de liens explicites entre ces programmes et l'innovation technologique dans le secteur de l'habitation, malgré les sommes considérables qui y leur sont affectées.

Le Technopôle Angus

En 1992 le CP fermait définitivement les usines Angus, ateliers de construction de locomotives et de wagons. Jusqu'à 12 000 personnes ont travaillé dans ce complexe industriel ouvert en 1904. À la fermeture, le CP s'est retrouvé aux prises avec un terrain contaminé. Les premiers projets élaborés proposaient de convertir le site en espaces résidentiels, mais la communauté locale désirait conserver un site créateur d'emplois.

La Ville de Montréal a donc créé deux zones, l'une industrielle et l'autre résidentielle. Le terrain a été décontaminé et un organisme sans but lucratif, la Société de développement Angus (SDA), représentant la communauté locale, s'est portée acquéreur de la partie industrielle grâce à une formule qui lui permet de l'acheter par phases et d'en assurer le développement.

Le Locoshop est l'un des trois bâtiments qui ont été conservés. Destiné à l'origine à la construction de locomotives, il a été rénové à partir de principes de développement durable. Il se distingue entre autres par le degré élevé de récupération des matériaux. Des poutres de pin ont été démontées et reconverties en escaliers ou en seuils de fenêtres. Des sections de pont roulant ont servi de poutres de soutien. Le choix des nouveaux matériaux a suivi les mêmes principes. Les colles et vernis par exemple sont exempts d'émanations toxiques.

Une autre caractéristique du bâtiment est l'utilisation des puits de lumière d'origine. La chaleur solaire est récupérée par les matériaux qui agissent comme accumulateurs d'énergie et relâchée durant la nuit. Le Locoshop consommerait la même énergie qu'un bâtiment trois fois plus petit.

Le Locoshop s'est vu décerner de nombreux prix, dont celui d'Innovation en architecture de l'Institut royal d'architecture du Canada. Il a également été choisi pour représenter le Canada dans le cadre du Défi du bâtiment écologique à Maastricht, en 2000.

La reconversion du bâtiment a nécessité des investissements de 6 millions de dollars. Les gouvernements ont fourni 4 millions\$, soit 2 millions sous forme de contribution non remboursable et 2 millions sous forme de prêt.

Sources : « La métamorphose des anciens ateliers Angus dans le quartier Rosemont – La Petite Patrie : L'architecture écologique récompensée », *Le Devoir*, 11 juin 2001.
Société de développement Angus, communiqué de presse, 21 juin 1999.

4 L'industrialisation de la construction de bâtiments

Comme on l'a vu précédemment, l'industrie de la construction et le secteur du bâtiment sont généralement perçus comme peu innovants lorsqu'on les compare aux autres secteurs industriels. Une façon d'augmenter la productivité stagnante de ce secteur serait d'emprunter les modes de production du secteur manufacturier. Dans ce chapitre, nous examinerons les tentatives qui ont été faites en ce sens.

4.1 L'industrialisation et la préfabrication

Dans le secteur manufacturier, le recours intensif à des machines et la production en série d'objets ont permis d'abaisser le coût unitaire des produits. L'**industrialisation** se définit comme une organisation de la production faisant appel à de l'équipement et à des technologies, en vue d'augmenter la productivité, de réduire les coûts associés à la main-d'œuvre et d'améliorer la qualité du produit¹. La nature même du bâtiment, ses dimensions, le recours à des éléments pondéreux à assembler sur le chantier même, sa longue durée de vie et son coût d'achat élevé le préparent mal à ce type d'opération. Depuis de nombreuses années, cependant, les architectes et les ingénieurs ont tenté à plusieurs reprises d'importer dans le secteur du bâtiment les techniques de production élaborées dans le secteur manufacturier. La reproduction en quantité d'objets suivant les techniques manufacturières² pourrait être utilisée dans le domaine du bâtiment. À son degré ultime, ce concept permettrait à un client de recevoir un bâtiment complet entièrement construit et assemblé en usine qu'il suffirait de déposer sur ses fondations.

La **préfabrication** consiste à fabriquer à l'extérieur du chantier les composants qui seront ultérieurement assemblés pour réaliser un bâtiment. Les matériaux de construction élémentaires comme les briques, le bois d'œuvre ou les panneaux de contreplaqué sont produits à l'extérieur du chantier. Les éléments plus complexes comme les portes et fenêtres ou les armoires de cuisine étaient autrefois fabriqués par les menuisiers sur le site de la construction à partir des matériaux servant à ériger l'ensemble de la structure. De nos jours, plusieurs de ces composants sont préfabriqués en usine et assemblés sur le chantier. Des

L'industrialisation

La préfabrication

1. Abraham Warszawski, *Industrialized and Automated Building Systems: A Managerial Approach*, 2^e édition, E&FN Spon, 1999.
2. Roger-Bruno Richard, *Extraits – Systèmes de construction industrialisés dans le domaine de l'habitation*, Société d'habitation du Québec, 1990.

éléments structuraux préfabriqués plus complexes comme les fermes de toit sont également venus alléger le travail des ouvriers sur le site de la construction. Depuis quelques décennies, on assiste donc sur les chantiers de construction traditionnelle à un recours de plus en plus grand à des éléments préfabriqués. Cela a indéniablement permis d'accroître la productivité dans le secteur du bâtiment.

À nouveau, le concept d'industrialisation s'applique à la préfabrication. Des techniques de production manufacturière permettent une augmentation de la productivité. La production de la presque totalité des matériaux de construction élémentaires (briques, clous, bois d'œuvre, isolants, contreplaqué, etc.) est entièrement industrialisée. Les portes et fenêtres ou les armoires de cuisine sont généralement préfabriquées en usine, mais le degré d'automatisation est moins élevé que dans le cas des matériaux. Les composants structuraux ou l'enveloppe du bâtiment sont rarement préfabriqués, leur assemblage sur le site de construction étant encore une pratique largement répandue. Ces composants complexes atteignent des stades d'industrialisation extrêmement variés dans différents pays, voire à l'intérieur d'un marché national.

*Les différents
stades
d'industrialisation*

Il convient ici de distinguer le produit préfabriqué du processus de préfabrication. Ainsi, par exemple, une maison pourrait être entièrement préfabriquée en usine et déplacée sur le site de ses fondations, mais en employant les mêmes méthodes que dans une construction traditionnelle sur le chantier. Dans ce cas, la préfabrication en usine permettrait d'améliorer les conditions physiques de travail, ne serait-ce qu'en soustrayant les ouvriers aux aléas des conditions climatiques ou en favorisant l'utilisation d'outils plus performants, mais elle ne permettrait cependant pas de bénéficier de toutes les techniques de production issues de la technologie manufacturière.

De la même façon que l'utilisation d'un outil mécanique améliore la productivité d'un ouvrier par rapport à l'utilisation d'un outil manuel, l'utilisation de machines, de robots et de nouvelles méthodes d'organisation du travail permettrait d'améliorer la productivité de notre usine de maisons préfabriquées. Plus les méthodes de production deviennent sophistiquées, plus la productivité devrait s'améliorer.

Le degré d'industrialisation atteint par une entreprise de préfabrication peut en pratique varier d'une région à une autre, d'un type de composant à un autre ou, pour un même type de composant, d'une entreprise à une autre. On peut ainsi distinguer cinq stades d'industrialisation de la construction, dont le premier serait celui de l'usinage simple³ :

1. Usinage simple : Les composants ou les bâtiments sont fabriqués en usine, et assemblés le plus souvent suivant des méthodes traditionnelles.

3. Adaptation de la classification proposée dans Roger-Bruno Richard, *op. cit.*

2. La mécanisation : On utilise un outillage spécialisé pour alléger le travail de l'ouvrier.
3. L'automatisation : De manière intensive, on remplace les ouvriers par des machines spécialisées.
4. La robotisation : Des machines très sophistiquées (programmables le plus souvent) accomplissent plusieurs tâches complexes et diversifiées permettant de remplacer davantage d'ouvriers.
5. La reproduction : À ce dernier stade, on remplace la suite d'opérations traditionnelles par de nouveaux procédés qui réduisent le nombre d'opérations nécessaires à la production d'objets complexes et qui apportent des gains supérieurs à ceux de la mécanisation et de la robotisation.

La préfabrication est utilisée depuis longtemps. Les débuts de la préfabrication industrielle de bâtiments remontent au milieu du 19^e siècle, en Grande-Bretagne, où des maisons préfabriquées en bois étaient destinées aux colonies britanniques. C'est ainsi que durant la guerre de Crimée environ 1 400 bâtiments de bois préfabriqués en Grande-Bretagne ont été assemblés sur le théâtre des opérations, 5 000 kilomètres plus loin, afin d'abriter les troupes anglaises et françaises⁴. Plusieurs constructions spectaculaires du 19^e siècle comme le Crystal Palace à Londres ou la tour Eiffel à Paris ont fait appel à des structures métalliques préfabriquées. Le béton fait également son apparition à la même époque et est utilisé sous forme de composants préfabriqués offrant une solution de remplacement à l'acier et à la pierre dans les édifices publics, ainsi qu'au bois dans l'habitation.

La préfabrication ne constitue donc pas en soi une réalité nouvelle. Elle représente cependant un premier pas vers l'application au bâtiment de méthodes de production industrielle en favorisant le développement de systèmes de construction basés sur des composants préfabriqués industriellement.

Un bâtiment, quelle que soit sa nature ou sa dimension, peut être considéré comme un système composé de sous-systèmes qui sont généralement répertoriés comme suit⁵ :

1. *Les fondations* : sur lesquelles repose le bâtiment et qui comprend les drains et les structures utiles souterraines.
2. *La structure* : ou l'ossature, qui constitue le squelette du bâtiment et qui supporte l'ensemble des autres composants.
3. *L'enveloppe* : les murs externes et le toit, qui sont destinés à protéger la structure et les utilisateurs de l'environnement extérieur.

*La préfabrication :
une longue histoire*

*L'application
au bâtiment
de méthodes
de production
industrielle*

4. Abraham Warszawski, *op. cit.*

5. Alistair Gibb, *Off-site fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation*, John Wiley and Sons, 1999.

4. *Les services*: l'ensemble de l'équipement mécanique assurant la circulation des fluides (plomberie, électricité, chauffage-ventilation, acoustique, domotique).
5. *Les travaux intérieurs*: cloisonnement (ensemble des murs, plafonds, planchers, escaliers) et la finition intérieure (peinture, plâtre...).
6. *Les équipements*: destinés principalement aux utilisateurs (toilettes, cuisines, ascenseurs, mobilier...).

*Les systèmes
de construction
industrialisés*

La production et l'assemblage en usine d'un bâtiment complet compliquent souvent les différentes étapes de production et de livraison sur le site désigné. On recourt donc généralement à la production de composants dont les dimensions les rendent plus faciles à transporter et à manipuler et qui seront assemblés sur le site pour former le bâtiment. Un **système de construction industrialisé** se définit alors comme l'ensemble des composants préfabriqués d'un certain type de bâtiment, avec les règles de production et d'assemblage qui lui sont propres. Ces règles permettront, grâce à différents assemblages, de créer plusieurs configurations de bâtiments.

Un système de construction peut se limiter à un seul des sous-systèmes décrits (par exemple la structure) ou en intégrer plusieurs. Un système de construction qui couvre l'ensemble des sous-systèmes livre un bâtiment complet.

*Trois grands
systèmes de
classification*

Plusieurs classifications des systèmes de construction industrialisés ont été proposées. Pour le présent avis, nous distinguerons trois grandes classes de systèmes⁶:

1. Les meccanos assemblés sur le chantier : systèmes linéaires, composés de poutres et de colonnes ou systèmes planaires constitués de panneaux formant les murs et cloisons qui sont assemblés sur le chantier à la manière d'un jeu de meccano. Les systèmes linéaires servent surtout à constituer des charpentes qui seront complétées par des éléments de cloisonnement. Les systèmes planaires peuvent comprendre plusieurs éléments de finition et d'isolation.
2. Les volumes usinés – qui sont constitués de modules tridimensionnels pouvant constituer un bâtiment complet ou une partie de bâtiment. Les volumes usinés constituent ce qui se rapproche le plus d'une production de masse de bâtiments. Toutes les opérations peuvent se faire en usine et les volumes usinés peuvent contenir une grande partie des éléments de finition. Toutefois, les opérations de transport sur le site s'en trouvent pénalisées, à cause des dimensions et du poids des modules, particulièrement si le béton est utilisé.
3. Les systèmes hybrides qui combinent les points forts des deux premières catégories, en fabriquant en usine les éléments complexes et en laissant au chantier les opérations pénalisées par le transport.

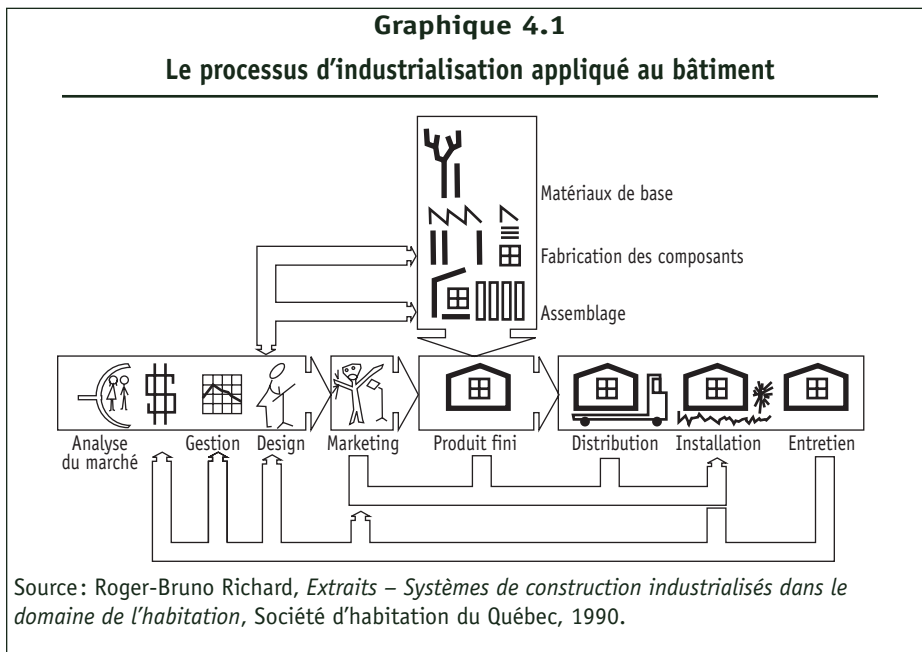
6. Roger-Bruno Richard, *op. cit.*

Chacun de ces systèmes peut également être basé sur l'utilisation de différents matériaux: béton, acier, bois, composites, plastique etc. Plusieurs dizaines de systèmes sont répertoriés⁷.

L'objectif ultime d'un système de construction est de diminuer le coût de production d'un bâtiment, en réduisant au minimum les interventions sur le chantier et en profitant au maximum des techniques de production manufacturières dans la préfabrication des composants. Le degré d'industrialisation atteint dans la fabrication et l'assemblage des composants et le degré d'intégration des sous-systèmes conditionnent les économies totales réalisées.

Du point de vue de ses promoteurs, l'industrialisation du bâtiment est une notion qui dépasse l'utilisation de composants préfabriqués lors de l'érection d'un bâtiment. Elle procède plutôt d'une vision systémique du bâtiment qui englobe non seulement les aspects techniques déjà décrits, mais également des aspects économiques, de gestion, de mise en marché et d'exploitation, comme l'illustre la graphique 4.1.

Une vision systémique du bâtiment



Comme cela s'est produit dans l'industrie manufacturière, l'intégration des processus de design et de conception, des processus de fabrication et des processus d'affaires devrait permettre aux entreprises de construction de réaliser des gains de productivité, d'abaisser leurs coûts de production et d'améliorer la qualité du produit. Cependant, la structure de l'industrie du bâtiment diffère suffisamment de celle de l'industrie manufacturière pour que ce transfert ne puisse s'effectuer facilement.

7. *Ibid.*

*Des applications
variables
des systèmes
de construction*

Les systèmes de construction ont été utilisés de façon variable dans les différents segments du marché du bâtiment. Ils ont trouvé leurs principales applications dans les constructions à grande échelle, particulièrement dans le secteur commercial, où le coût élevé des projets permet d'amortir les investissements nécessaires à la conception des systèmes et à la préfabrication des composants. Les systèmes à base de béton ont également été très utilisés à des fins de logement de masse en France et en Europe de l'Est. Un autre secteur où les systèmes de construction se sont imposés est celui des bâtiments commerciaux en structure d'acier. Ce type de construction, de faible hauteur, que l'on retrouve principalement dans les parcs industriels, abrite des entrepôts, des commerces et des manufactures. Ces systèmes consistent généralement en structures rigides d'acier, dont les différents composants peuvent être sélectionnés à partir d'un catalogue. Ils sont conçus de façon à recevoir ultérieurement différents types de recouvrements : brique, bois ou métal. On estime que ce type de bâtiment représente près de 70 % des constructions commerciales aux États-Unis. Il constitue en quelque sorte le pendant commercial de la maison mobile. Ces bâtiments ont longtemps été boudés par les architectes et leur design tend à se réduire à sa plus simple expression, de manière à limiter au minimum les coûts de construction. Leur succès commercial repose cependant sur l'utilisation de systèmes constructifs qui permettent la préfabrication et l'assemblage facile des composants.

*Un secteur
résidentiel rétif
à la préfabrication*

De son côté, le secteur résidentiel est resté relativement froid devant ce mode de production, bien que les bénéfices de l'industrialisation y paraissent prometteurs, étant donné le grand volume d'unités dont il est question et la relative homogénéité des besoins des occupants. Malgré tout, les méthodes traditionnelles de construction restent largement majoritaires dans plusieurs pays, particulièrement en Amérique du Nord.

4.2 L'industrialisation de la production d'habitations : l'expérience de quelques pays

Au cours des dernières décennies, plusieurs projets ont été réalisés dans le monde pour tenter d'encourager l'utilisation de la préfabrication et le développement de l'industrialisation de la construction résidentielle.

Aux États-Unis

*De nombreuses
expériences aux
États-Unis*

Les années 1930 ont donné lieu à un grand nombre d'expérimentations aux États-Unis dans la production industrialisée d'habitations. En 1935, on dénombrait 33 systèmes de construction vendus sur le marché, la plupart utilisant l'acier comme matériau de base. Plusieurs entreprises d'envergure, parmi lesquelles Goodyear, ont alors tenté d'occuper le créneau de la préfabrication

résidentielle. Ces systèmes n'ont cependant pas réussi à percer le marché, le coût des structures métalliques s'avérant plus élevé que prévu. On a alors assisté à un retour à des méthodes de construction traditionnelles⁸.

Le « baby-boom » de l'après-guerre a réuni des conditions favorables à la production massive de maisons aux États-Unis. Le programme « *Veteran Emergency Housing Program* », lancé en 1946, anticipait une forte croissance de l'industrie de la préfabrication. En raison d'un manque de coopération entre les différentes agences gouvernementales responsables, ce programme s'est toutefois révélé un échec, la proportion de maisons préfabriquées passant de 16 % en 1942 à 4,8 % en 1950. Plusieurs entreprises de préfabrication ont éprouvé des difficultés financières et ont dû recourir à nouveau à des méthodes plus traditionnelles.

En 1969, le U.S. Department of Housing and Urban Development lançait l'opération « *Breakthrough* » destinée à évaluer différentes techniques de production de masse d'habitations. Ce projet cherchait à éliminer les obstacles à l'industrialisation provenant des différents codes de bâtiments en usage dans différentes localités et à financer un important programme de recherche et de développement conçu pour expérimenter des méthodes de construction innovatrices. Vingt-deux projets de développement de systèmes de construction ont été retenus, allant de la tour d'habitation avec une structure d'acier à la maison unifamiliale à ossature de bois. L'opération « *Breakthrough* » aura permis l'uniformisation des différents codes du bâtiment et l'expérimentation de nouvelles méthodes de construction, sans toutefois avoir mené à une réduction substantielle des coûts de production d'habitations. L'arrêt du financement du projet, en 1973, n'a pas permis de réaliser la dernière phase prévue initialement, à savoir la production massive d'unités de logement⁹.

Le projet « *Partnership for Advancing Technologies in Housing* » (PATH), lancé en 1998, repose sur le constat d'un déclin de l'accès à la propriété aux États-Unis. Ce déclin est interprété comme une inadéquation entre le prix des maisons et les revenus des acheteurs potentiels. L'administration américaine a donc invité les membres de l'industrie de la construction à atteindre un certain nombre d'objectifs nationaux (voir le tableau 4.1) qui se sont traduits par deux grandes priorités : réduire le coût des maisons au moyen de l'amélioration des techniques de production et accroître la durabilité des produits. Ces priorités dépendent des technologies disponibles. Elles cherchent à développer de nouveaux matériaux et à changer les processus de construction utilisés afin de diminuer le coût d'une maison et d'améliorer la performance énergétique. Le projet PATH se poursuit actuellement. Il fait partie d'une vaste initiative visant à accroître la performance de l'ensemble de l'industrie de la construction aux États-Unis. Nous y reviendrons au chapitre 6.

*L'après-guerre,
une période propice*

*Le projet PATH
pour relancer l'accès
à la prospérité*

8. Barry James Sullivan, *Industrialization in the Building Industry*, Van Nostrand Reinhold Co., 1980.

9. Barry James Sullivan, *op. cit.*

Tableau 4.1
Le projet PATH – Objectifs nationaux

1. Réduction de 50 % du délai de livraison.
2. Réduction de 50 % des coûts énergétiques.
3. Augmentation de 30 % de la productivité et du confort.
4. Réduction de 50 % des maladies ou blessures des occupants.
5. Réduction de 50 % des déchets et de la pollution.
6. Augmentation de 50 % de la durabilité et de la flexibilité.
7. Réduction de 50 % des maladies et des accidents.

Au Japon

*La percée de
l'industrialisation
du bâtiment
au Japon*

La construction des maisons japonaises est traditionnellement basée sur l'utilisation du bois. Les premières tentatives d'industrialisation de la construction ont eu lieu vers la fin des années 1950, donc plus tard qu'en Europe. Les pénuries de travailleurs spécialisés, l'épuisement des ressources forestières locales et l'urbanisation croissante comptent parmi les principaux déclencheurs du phénomène de l'industrialisation de la construction¹⁰. Toutefois l'impulsion pour ce type de développement est venue des producteurs de matériaux qui cherchaient de nouveaux débouchés à leurs produits à la suite de la reconversion industrielle d'après-guerre, et non du besoin de réduire les coûts de l'habitation¹¹.

*20% du marché
occupé par
la maison
préfabriquée*

Environ 20 % des maisons sont préfabriquées au Japon. L'immense marché de plus d'un million de mises en chantier annuelles permet aux constructeurs de compter sur un fort volume de commandes. Cinq grandes compagnies (tableau 4.2) occupent 80 % du marché de la préfabrication : Sekisui House, Misawa Homes, Daiwa House Industry, Sekisui Chemical et National House Industrial Co. Ces compagnies présentent des chiffres impressionnants. Misawa compte 9 600 employés et affiche des ventes de 4 milliards de dollars US ; Daiwa compte 12 000 employés. Les usines de Sekisui sont en mesure de produire 600 maisons par mois¹².

10. David Gann, « Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan, *Construction Management and Economics*, 14(5) 1996.

11. D. Bottom *et al.*, *Innovation in Japanese Prefabricated House-Building Industries*, Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), SP139, 1996.

12. David Gann, *op. cit.*

Tableau 4.2
Production des cinq grands constructeurs japonais, 1993

Constructeur	Nombre de maisons
Sekisui House	70 000
Misawa Homes	50 000
Daiwa House Industry	40 000
Sekisui Chemical	34 000
National House Industrial Co.	32 000

Source: David Gann, « Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan », *Construction Management and Economics*, 14(5) (1996).

Une des particularités intéressantes de ces entreprises tient au fait qu'elles ne sont pas issues du secteur de la construction traditionnelle, mais ont été mises sur pied par des conglomérats qui disposaient des ressources nécessaires à la construction d'usines et aux investissements requis en recherche et développement. Ces grands constructeurs disposent de centres de recherche employant des centaines de techniciens et de scientifiques. Ils intègrent verticalement la conception, la production et l'assemblage.

Le Japon utilise des systèmes modulaires et à panneaux. Les usines de production ont recours à des méthodes de gestion et de production empruntées aux chaînes de production automobiles. L'acier léger est généralement utilisé pour la structure. La production est fortement industrialisée. À titre d'exemple, Sekisui Chemical, le quatrième producteur en importance, utilise des robots pour souder les composants structuraux en acier. Des systèmes sophistiqués de gestion des composants et des entrepôts automatisés permettent un approvisionnement optimal de pièces aux chaînes de production. En fonction du modèle choisi par le client, une maison peut nécessiter quelques dizaines de milliers de pièces provenant d'un inventaire total de 300 000 composants différents.

Les constructeurs japonais ne disposent pas de banques de terrains sur lesquels ils pourraient spéculer et réaliser des profits substantiels. Ils doivent donc s'appuyer sur le développement de nouvelles techniques de production pour rentabiliser leurs investissements. Ils ciblent le marché de moyenne et de haute qualité. Il est cependant intéressant de noter que les diminutions des coûts de production résultant des méthodes industrialisées sont en bonne partie annulées par l'augmentation des coûts en marketing et en service à la clientèle, ce qui réduit l'écart de coûts totaux entre les méthodes industrielles et traditionnelles de construction. Les constructeurs japonais constituent en quelque sorte la référence actuelle en matière d'industrialisation du processus de construction, tel que nous l'avons décrit plus haut.

*Recours
aux systèmes
modulaires
et à panneaux*

En Suède

La Suède a connu au début du siècle un important problème de logement à la suite de la migration massive de populations vers les villes. Cette crise sociale a donné naissance au programme « *Small House Movement* » où l'État finançait 90 % des coûts de construction de petites maisons dotées de l'eau courante et du chauffage. D'autres politiques de logement ont été mises sur pied durant les années d'après-guerre et la construction domiciliaire s'est rapidement industrialisée, effaçant pratiquement la construction traditionnelle durant les années 1950. Le point culminant de cette politique d'habitation a été atteint dans les années 1970 avec le « *Million Program* » qui visait la construction d'un million de logements sur une période de dix ans.

*Un soutien
gouvernemental
massif*

La construction et le secteur immobilier ont toujours joué un rôle stratégique en Suède. L'État a, traditionnellement, fortement subventionné ce secteur, particulièrement sous forme de bonification des taux d'intérêt permettant aux acheteurs d'accéder au logement. Sans ce système, les Suédois auraient dû consacrer à l'habitation de trois à cinq fois plus de revenu disponible que les Nord-Américains¹³.

En 1995, en Suède, la production de maisons était dominée à 95 % par la préfabrication en usine selon des normes élevées de qualité et de rendement énergétique¹⁴. Les principales entreprises intègrent toutes les phases de production et le recours à la conception assistée par ordinateur est généralisé. Les méthodes de construction permettent une économie de 25 % à 40 % sur les techniques traditionnelles¹⁵. La maison modulaire n'occupe que 5 % du marché, le système à panneaux étant le plus populaire. Le degré d'automatisation des entreprises de préfabrication est beaucoup plus élevé qu'en Amérique du Nord.

Le besoin de conservation d'énergie a été l'un des principaux vecteurs de développement de maisons performantes et les maisons préfabriquées suédoises sont reconnues mondialement pour leur efficacité énergétique¹⁶.

*Puis un retrait
de l'État
depuis 1994*

La crise économique qui a touché la Suède à la fin des années 1980, son entrée dans la Communauté européenne ainsi que les coûts de plus en plus élevés des programmes publics d'habitation ont provoqué, depuis 1994, le retrait progressif du système de subvention. Ce retrait a coïncidé avec une période de marasme sur le marché intérieur qui a forcé les entreprises à se tourner vers les marchés extérieurs. Celles-ci ont par ailleurs procédé à une intégration verticale qui leur permet d'être autosuffisantes. Les marchés d'exportation sont

13. SCHL, *Scandinavie, La série: occasions d'exportation dans le domaine de l'habitation*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1997.

14. SCHL, *op. cit.*

15. André Poitras et Jocelyn Duff, *Les innovations technologiques en matière d'habitation et la production de logement en dehors des modes traditionnels*, Société d'habitation du Québec, 1988.

16. Paul Fazio et Louis Poliquin, *Prefabricated Housing in Sweden and Finland*, 2000.

l'Allemagne, la Scandinavie, l'Europe de l'Est et le Japon. La proximité géographique des marchés cibles, la longue expérience en matière de relations commerciales et la qualité des produits rendent la compétition difficile pour de nouveaux venus qui voudraient concurrencer les entreprises suédoises¹⁷.

Une longue tradition de coopération entre les chercheurs et l'industrie et un système de subvention avantageux pour les consommateurs ont permis aux Suédois d'acquérir une expertise de premier plan dans la préfabrication d'habitations. Cette expertise leur a permis d'exploiter rapidement les marchés extérieurs quand les conditions du marché intérieur sont devenues moins favorables.

4.3 Préfabrication et industrialisation du bâtiment au Canada et au Québec

Dans cette section nous passerons en revue les principales applications de la préfabrication et des systèmes de construction au Québec dans l'ensemble du secteur du bâtiment, et ce, pour les trois principales filières de matériaux, soit le béton, l'acier et le bois. Le Canada et le Québec ont suivi sensiblement la même trajectoire que les États-Unis, mais la construction traditionnelle y a toujours été plus populaire, largement soutenue par de très petites entreprises ou même par des propriétaires non professionnels¹⁸. La majeure partie des innovations en matière d'habitation ont été importées des États-Unis¹⁹. Nous n'avons pas relevé de programmes gouvernementaux d'envergure visant à faire la promotion de l'industrialisation de la construction résidentielle. Le programme Corvée habitation visait bien à stimuler la construction domiciliaire par la réduction des taux d'intérêt au début des années 1980, mais il ne comportait aucun volet technologique. La part des mises en chantier occupées par les maisons préfabriquées au Canada a atteint un sommet de 19,2 % en 1974, mais elle est retombée à 6 % en 1984²⁰.

Une trajectoire semblable à celle des États-Unis

Une des expériences les plus marquantes de préfabrication de bâtiments résidentiels à s'être tenues au Québec est celle d'Habitat 67, de l'architecte Moshe Safdie (voir l'encadré). Cette réalisation n'a pas dépassé le stade du prototype. Toutefois, ce projet constitue un cas remarquable d'industrialisation de la construction. D'autres expériences d'utilisation du béton n'ont pas conduit à des baisses de coût appréciables²¹.

17. SCHL, *op. cit.*

18. Richard Harris, « More American than the United States: Housing in Urban Canada in the Twentieth Century », *Journal of Urban History*, 26(4) (2000).

19. André Poitras et Jocelyn Duff, *op. cit.*

20. Stefan J. Wiedemann, *Modular prefabrication versus conventional construction as a cost effective alternative for the construction of single family detached housing in the Montreal area*. Thèse, École d'architecture, McGill University, 1990.

21. André Poitras et Jocelyn Duff, *op. cit.*

Les systèmes à base de béton

Les systèmes à base de béton peu utilisés pour le résidentiel

Dans l'ensemble, les systèmes à base de béton pour la construction résidentielle sont peu utilisés au Québec et dans l'ensemble de l'Amérique du Nord, bien qu'il s'agisse du matériau de construction le plus répandu au monde. Les architectes apprécient sa malléabilité qui leur permet de donner libre cours à leur créativité. C'est également un matériau accessible dans toutes les régions. Il possède des caractéristiques d'isolation acoustique et de résistance au feu recherchées dans les immeubles résidentiels de type copropriété par exemple. Il est par contre plus sensible aux tremblements de terre. Surtout au sortir de la Deuxième Guerre mondiale, plusieurs systèmes à base de béton ont été élaborés en Europe, où le bois et l'acier étaient rares. En Amérique, il semble que le coût de développement de tels systèmes n'ait pu soutenir la concurrence des méthodes traditionnelles, basées sur le bois dans le secteur résidentiel et sur l'acier dans le domaine commercial.

Le Québec: un chef de file dans l'utilisation du béton de haute performance

Le Québec dispose d'une expertise enviable dans l'utilisation du béton de haute performance, largement utilisé dans les travaux de génie civil. Il est d'ailleurs un chef de file dans ce domaine au Canada²². L'utilisation du béton dans le bâtiment est cependant moins répandue ailleurs que pour les grands projets, si l'on fait abstraction, bien sûr, du sous-système des fondations. Le stade olympique est un exemple notoire du recours au béton et, au-delà des considérations économiques qui restent attachées à sa construction, il demeure un exploit architectural et technique reposant sur l'utilisation de composants préfabriqués à l'aide de ce matériau. Ces composants gagnent cependant en popularité et plusieurs entreprises se spécialisent dans la fabrication de panneaux qui peuvent constituer l'enveloppe du bâtiment ou servir de recouvrement architectural à des fins essentiellement décoratives (voir tableau 4.3a). On peut alors leur appliquer une gamme variée de textures et de couleurs. Ces composants sont utilisés surtout dans les édifices commerciaux ou institutionnels de moyenne ou de grande envergure.

L'utilisation du béton est encore très peu répandue dans le secteur résidentiel unifamilial. Quelques systèmes cependant connaissent un succès parfois même plus important à l'étranger que sur le marché intérieur. Le coffrage isolant est une méthode de construction de murs et de fondations qui utilise des plaques ou des blocs en polystyrène, formant des « moules », à l'intérieur desquels le béton est coulé. Contrairement au coffrage en bois qui est retiré après le durcissement du béton, le coffrage en polystyrène reste en place et joue un rôle d'isolant. Quelques entreprises au Québec utilisent cette technique (voir le tableau 4.3b). Ainsi, la compagnie Polycrète a développé un système qui a notamment été exporté en Russie. Un des avantages de ce système est la possibilité de varier les formes et de réaliser rapidement des murs à angles ou circulaires. La compagnie Systèmes Digigraph a pour sa part mis au point un système de coffrage en PVC qui permet la construction de maisons à un coût très compétitif. Son marché est

22. John Bickley et Dennis Mitchell, *A State-of-the-Art Review of High-Performance Concrete Structure Built in Canada: 1990-2000*, Cement Association of Canada, 2001.

orienté presque exclusivement vers l'exportation. Certaines applications industrielles trouvent également leur chemin dans le domaine résidentiel, tels les panneaux en béton préfabriqués Thermoplan de la compagnie Renouvo. Ces panneaux sont constitués d'une couche isolante entre deux épaisseurs de béton. Le circuit électrique est installé dans des conduits de PVC incorporés au béton. L'installation est rapide, mais nécessite un équipement lourd qui limite son utilisation aux maisons haut de gamme.

Tableau 4.3a

Fabricants de composants préfabriqués en béton au Québec

Béton Bolduc inc.	Sainte-Marie
Saramac inc	Lachenaie
Béton préfabriqué du Lac inc.	Alma
Shockbéton Québec inc.	Saint-Eustache
Groupe Tremca inc	Iberville

Source : Canadian Precast/Prestressed Concrete Institute.

Tableau 4.3b

Fabricants de coffrages isolants au Québec

Izobest	Saint-Léonard
Keps System inc.	Saint-Eustache
Les Industries Polycrète inc.	Longueuil
Arxx Building Products inc.	Dollard-des-Ormeaux
Maxiform	Granby
Pink FormXtra (Owens Corning Canada Ltd.)	Saint-Laurent

Source : Association canadienne du ciment.

Les systèmes à base d'acier

C'est dans le domaine des bâtiments en métal que les techniques de préfabrication et le développement de systèmes de construction sont les plus avancés, particulièrement en Amérique du Nord. Au Québec, le secteur de la fabrication de produits métalliques destinés à l'industrie de la construction est dominé par deux grandes entreprises spécialisées en charpentes métalliques, Les Aciers Canam et le Groupe ADF. Ces deux entreprises ont, à des degrés différents, intégré les services de conception et d'ingénierie, de fabrication et de construction.

Deux grandes entreprises dominent le marché

Les Aciers Canam font partie du Groupe Canam Manac, reconnu pour la production de poutrelles métalliques. Ils produisent également une gamme de systèmes de construction sous différentes appellations commerciales. Les systèmes Murox et Sun livrent un bâtiment complet à des fins non résidentielles. Le système de planchers Hambro est destiné à s'intégrer à des bâtiments résidentiels ou non résidentiels. C'est un système hybride qui combine la préfabrication avec une part d'installation sur le chantier. Le système de panneaux préfabriqués Expanpro est destiné quant à lui à constituer l'enveloppe de bâtiments résidentiels ou non résidentiels.

*Le Réseau Acier Plus:
un regroupement
pour augmenter
la capacité
concurrentielle*

Canam a mis sur pied Réseau Acier Plus: il s'agit d'une expérience de mise en réseau des plus intéressantes qui pourrait servir de modèle au réseautage des PME dans le secteur du bâtiment. À l'image de l'industrie de la construction dans son ensemble, l'industrie de la production de charpentes d'acier et de poutrelles métalliques est extrêmement fragmentée, comptant plus de 3 300 entreprises en Amérique du Nord, la plupart employant moins de 50 personnes. Ces entreprises ne disposent donc pas des moyens financiers et des ressources humaines nécessaires pour accéder à des technologies de pointe. En recourant à Réseau Acier Plus, Canam vise à regrouper ses clients de façon à augmenter leur capacité concurrentielle en leur donnant accès à une gamme de services et à des garanties sur le plan de la capacité de production, des délais de livraison et du soutien logistique. L'avantage qu'en retire Canam est un plus grand marché pour ses matériaux. Les membres du réseau confient 80 % de leurs commandes à Canam comparativement à une proportion de 64 % pour les clients non membres. Même s'ils ne forment que 18 % de la clientèle, les membres du réseau fournissent à Canam 28 % de ses revenus²³. Il est également intéressant de constater que le réseau repose sur l'offre de services de dessinateurs de structures métalliques, profession pour laquelle il y a pénurie. Parmi les autres services offerts par le réseau on compte le développement d'un logiciel spécialisé en calcul de structures métalliques, l'analyse des autres logiciels disponibles sur le marché et un soutien technique permettant aux entreprises de moindre envergure de soumissionner pour des projets de plus grande envergure. La formation est également un volet important: le réseau a ainsi mis sur pied l'*Université de l'Acier*, qui gère des cours, surtout en dessin et en ingénierie de l'acier. Les membres du réseau paient des frais d'adhésion de l'ordre de 15 000 \$ par an. Le réseau comptait 300 employés en 2001, dont 118 en Roumanie et 31 en Inde²⁴.

*Au Dragon Forgé:
un guichet unique
des services*

Le Groupe ADF (Au Dragon Forgé) a connu une expansion remarquable au cours des dernières années, ses ventes passant de 74 millions de dollars en 1998 à 510 millions en 2002 et son personnel de 527 à 1 443 employés durant la même période. Il possède quatre usines de production. Sa mission est de « s'imposer sur la scène mondiale comme le guichet unique des services de conception, d'ingénierie, de fabrication et de montage de charpentes métalliques

23. Dominique Froment, « Aider ses clients à acheter de soi », *Les Affaires*, 30 mars 2002.

24. Le groupe Canam Manac, *Rapport annuel*, 2001.

complexes pour la réalisation des mégaprojets à échéancier accéléré et à hautes exigences technologiques²⁵ ». Le succès de l'entreprise est attribué à l'intégration des fonctions de conception, de fabrication et de construction au moyen d'un système de gestion de projets propre à l'entreprise appelé OSD, pour « *Optimal Structural Design* ». Les technologies de l'information permettent d'intégrer la conception à partir d'outils de dessin 3D avec la fabrication assistée par ordinateur des composants et leur livraison en « juste-à-temps » sur les chantiers conformément à l'échéancier de montage. L'installation des structures est assurée par une filiale (MDI inc.) spécialisée dans le montage de charpentes d'acier. Ce mode de fonctionnement procure un avantage comparatif sur les concurrents qui travaillent majoritairement en sous-traitance. La réalisation du toit du Ford Stadium de Détroit en est un exemple. L'intégration des différentes phases de construction et la présence de l'équipe de concepteurs à toutes les étapes du projet ont permis de réduire de moitié le temps d'installation par rapport aux méthodes traditionnelles²⁶.

Plusieurs autres entreprises de taille moyenne fabriquent des systèmes de construction de bâtiments métalliques surtout à usage commercial (voir tableau 4.4). La compagnie Honco, par exemple, a commencé par la production de bâtiments simples et a progressivement intégré les étapes de conception, de fabrication et d'installation de bâtiments plus complexes. Ses bâtiments sont expédiés dans des boîtes, prêts à être assemblés²⁷. L'entreprise est présente sur le marché d'exportation et elle a su diversifier ses marchés en exportant autant aux États-Unis que dans 13 autres pays, au nombre desquels on compte la Turquie, l'Islande et Cuba.

*Un exemple réussi
d'exportation:
Honco inc.*

Tableau 4.4
Entreprises de bâtiments préfabriqués en métal au Québec

Construction Beauce-Atlas inc.	Sainte-Marie
Honco inc	Saint-Nicolas
Constructions Proco inc	Saint-Nazaire
Bâtiments d'acier FINAR inc	Saint-Nicolas
Produits métalliques PMI inc	Rimouski
Bâtiments KALAD'ART inc.	Gatineau
Métal Sartignan inc.	Saint-Georges
Corporation d'acier Ungava U.S.C. Ltée	Saint-Hubert

Source: Réseau Netmétal.

25. Le groupe ADF, *Rapport annuel 2001-2002*, 2002.

26. Jean-Marc Papineau, « La part du Lion », *Plan*, nov.-déc. 2001.

27. Dominique Froment, « Honco vend ses bâtiments au poids », *Les Affaires*, 4 août 2001.

Habitat 67 à Montréal

Habitat 67 est l'œuvre de l'architecte Moshe Safdie. Ce projet est une tentative de repenser le design urbain et de trouver un compromis entre la maison unifamiliale de banlieue qui favorise l'étalement urbain et la tour d'habitation mal adaptée aux besoins des familles. La construction consiste en une préfabrication en masse d'unités de logements, plutôt que de les construire sur le chantier.

Le projet initial devait compter plus de mille unités de logement, une école et des boutiques. Le projet a finalement été réduit à 158 unités de logement, composées de 354 modules, sans école ni boutique.

Une usine de préfabrication contenant quatre moules avait été construite près du site. Une cage en acier était placée dans chaque moule et du béton était coulé autour de la cage. Chaque unité était ensuite déplacée sur une chaîne de montage où des planchers de bois étaient installés de même que le sous-système des services. Les fenêtres et l'isolation étaient ensuite mises en place, suivies des modules de cuisines et de salles de bain préfabriqués. La dernière étape consistait à poser l'unité sur le bâtiment à l'aide d'une grue. L'agencement des modules permettait différents types de logements et chaque maison disposait d'une terrasse pouvant faire office de jardin.

Le concept n'a pas dépassé le stade du prototype et, à l'époque, les coûts finaux de chaque unité correspondaient au coût de 6 à 8 maisons traditionnelles. L'amortissement de l'infrastructure de production aurait nécessité un plus grand volume de production. Des choix discutables de conception au niveau de l'attachement des modules à la structure portante ont amené un accroissement des coûts. Le design du complexe était par ailleurs mal adapté aux hivers rigoureux de Montréal. L'expérience d'Habitat 67 n'a donc pas été concluante et a même terni l'image de la préfabrication d'habitations dans certains milieux. Cependant, il s'agissait là d'une réalisation avant-gardiste qui annonçait des modes de construction industrialisés comme ceux que l'on retrouve au Japon. On peut se demander si des efforts additionnels en R-D n'auraient pas contribué à adapter la conception et les modes de production aux conditions locales.

Sources: <http://naid.sppsr.ucla.edu/expo67/map-docs/habitat67.htm>
et <http://cac.mcgill.ca/safdie/habitat/>

Les systèmes à base de bois

Si les systèmes à base d'acier et de béton sont surtout utilisés dans le secteur non résidentiel, la majorité des maisons construites au Québec sont à ossature de bois. Un encadré résume, pour le secteur résidentiel, les principales méthodes utilisées dans la construction de maisons usinées au Québec. Toutefois, ces méthodes de préfabrication ne sont jamais arrivées à diminuer suffisamment les coûts d'achat d'une maison pour occuper une part importante du marché résidentiel. Plusieurs entreprises sont actives dans ce créneau (tableau 4.5), mais elles ont traditionnellement représenté un mode de production d'appoint à la

*Au Québec:
domination de la
maison à ossature
de bois*

construction traditionnelle en période de forte demande. La décision de recourir à l'une ou l'autre de ces méthodes se fait essentiellement sur la base des coûts et reste tributaire du type de projet à réaliser. La diminution des mises en chantier, la mauvaise perception du produit par la clientèle et le fait que les meilleurs terrains soient la propriété d'entreprises de construction traditionnelle sont d'autres raisons pour lesquelles la part du marché de la maison usinée n'a pas progressé au rythme espéré.

Tableau 4.5
Manufacturiers québécois de maisons usinées à ossature de bois

Les Maisons Alouette	Sainte-Anne-de-la-Rochelle
Construction Goscobec	Rivière-du-Loup
Les résidences Pro-Fab	Vallée-Jonction
Maisons Laprise	Montmagny
Maisons S. Turner	Pointe-du-Lac
Maisons usinées Côté	Laurentides
Demtec	Princeville
Domicilex	Jonquière
Le maître constructeur Saint-Jacques	Saint-Jacques-de-Leeds
Maison Usinex	Milan
Groupe Secto	Saint-Bruno
Arontec	Sainte-Agathe-des-Monts
Habitations Nabco	Sainte-Brigide
Habitec 2000	Saint-Joseph de Beauce
Les Industries Bonneville	Belœil

Sources : Société québécoise des manufacturiers d'habitations, Strategis, ministère du Commerce international.

Il nous a été très difficile de trouver des statistiques fiables sur la production de maisons préfabriquées à ossature de bois au Québec depuis 1991, date de la dernière parution de *Bâtiments résidentiels et industriels manufacturés à ossature de bois au Québec* du ministère de l'Industrie et du Commerce (tableau 4.6). Une autre étude²⁸ conclut également à l'absence de statistiques fiables permettant de

28. Paul Fazio et al., *Assessment of the Prefabricated Building Industry*, Forintek et Université Concordia, 2000.

suivre l'évolution de l'industrie. L'Institut canadien de la maison usinée admet de son côté que le secteur souffre d'un manque général de données et un projet de recherche sur le sujet est en élaboration²⁹. Les estimations actuelles en provenance de l'Association professionnelle des constructeurs d'habitations du Québec (APCHQ) situent la part totale de l'habitation préfabriquée entre 10 % et 15 % des mises en chantier résidentielles.

Tableau 4.6
Expédition de maisons préfabriquées à ossature de bois
pour le Québec, 1982-1991

Année	Maison modulaire	Panneaux usinés	Pièce sur pièce	Maison mobile	Total	Permis de bâtir	%
1982	946	361	53	394	1 754	11 890	14,75
1983	1 833	570	92	793	3 288	21 260	15,46
1984	1 511	396	98	717	2 722	19 120	14,23
1985	2 075	425	98	871	3 469	17 640	19,66
1986	1 818	614	129	720	3 281	24 450	13,42
1987	2 141	554	144	746	3 585	29 451	12,17
1988	2 384	2 156	194	823	5 557	26 479	20,98
1989	2 577	1 533	114	703	4 927	24 703	19,94
1990	2 597	1 638	125	437	4 797	21 462	22,35
1991	1 536	2 937	74	631	5 178	21 628	23,94

Source : *Bâtiments résidentiels et industriels manufacturés à ossature de bois au Québec*, ministère de l'Industrie et du Commerce, 1991.

Un taux de pénétration de la maison préfabriquée supérieur à celui de nos voisins du Sud

Cette proportion se compare cependant avantageusement au taux de pénétration de la maison préfabriquée aux États-Unis, si l'on fait abstraction de la forte production de maisons mobiles chez nos voisins du sud. En effet, la maison mobile a réussi à occuper 20 % du marché américain sans l'aide de financement gouvernemental. Le tableau 4.7 compare les taux de pénétration de la maison modulaire au Québec, au Canada et aux États-Unis. Les données pour l'ensemble des systèmes de construction ne sont pas disponibles. On sait toutefois que le système modulaire a toujours été plus populaire au Québec qu'en Ontario (tableau 4.8). Le tableau 4.9 fournit les dernières données disponibles sur la

29. Voir le compte rendu du comité plénier du printemps 2001 du Comité national de recherche sur le logement. Disponible sur le site Web de la SCHL à l'adresse <www.cmhc-schl.gc.ca/fr/Info/cenofa/cnrl/recopr_009.cfm>.

répartition des différents systèmes de construction utilisés au Canada, à l'exclusion de la maison mobile qui ne faisait pas partie de l'étude. Les auteurs soulignent cependant que le système à panneaux est assurément plus répandu que ne le laissent croire les données recueillies, car celles-ci ne tiennent compte que des fabricants spécialisés dans ce type de système. Les fabricants de maisons modulaires manufacturent également des systèmes à panneaux destinés essentiellement à l'exportation.

Tableau 4.7
Taux de pénétration de la maison modulaire préfabriquée en pourcentage des mises en chantier, 1987-1996

Année	Canada	États-Unis	Québec
1987	2,93	2,10	8,34
1988	3,67	2,12	13,52
1989	3,55	2,11	13,99
1990	4,33	1,96	12,84
1991	3,50	1,89	9,77
1992	3,64	1,73	9,76
1993	4,57	1,72	9,47
1994	4,64	1,70	8,09
1995	6,28	1,72	10,65
1996	5,57	1,73	10,00

Source : *Revitalisation de l'industrie des maisons usinées au Canada pour la fourniture efficace de logements abordables*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1999.

Tableau 4.8

Taux de pénétration de la maison modulaire à ossature de bois en pourcentage des mises en chantier, 1987-1996

Année	Québec	Ontario
1987	8,34	1,78
1988	13,52	2,22
1989	13,99	2,43
1990	12,84	3,53
1991	9,77	2,64
1992	9,76	2,74
1993	9,47	3,63
1994	8,09	3,08
1995	10,65	2,60
1996	10,00	1,82

Source : Société canadienne d'hypothèques et de logement, *op. cit.*

Tableau 4.9

Systèmes de construction utilisés dans l'industrie de la maison préfabriquée au Canada, 1999

Système	%
Panneaux usinés	29
Maison modulaire	28
Maison en bois rond	19
Maison pièce sur pièce	17
Autres	6

Source : Paul Fazio *et al.*, *op. cit.*

Préfabrication de maisons au Québec

Au Québec, la vaste majorité des bâtiments résidentiels sont le résultat de méthodes de construction traditionnelles. L'érection de la structure, généralement constituée de bois, se fait sur le chantier par des ouvriers spécialisés. Plusieurs éléments préfabriqués sont cependant de plus en plus utilisés. Par exemple, les portes et les fenêtres sont maintenant complètement préfabriquées en usine et installées sur le site de construction. Les fermes de toit sont également de plus en plus préfabriquées. Des poutrelles préfabriquées peuvent aussi venir remplacer les solives traditionnelles. Leur conception améliore leur portée, ce qui réduit le besoin de poutres ou de murs porteurs, libérant ainsi les espaces intérieurs. Bien que l'on recoure à des éléments préfabriqués, l'ensemble des opérations d'assemblage continue de se faire de façon traditionnelle.

En suivant la même logique d'utilisation d'éléments préfabriqués, la construction de la maison dans son ensemble pourrait se faire entièrement en usine. Le concept de maison usinée ou préfabriquée, qui reste relativement mal connu des acheteurs, recouvre différents types de production. Les principaux systèmes utilisés sont :

Les maisons modulaires. Ces maisons sont constituées de modules tridimensionnels complets qui sont transportés vers le chantier sur des fardiers et déposés sur les fondations à l'aide d'outils hydrauliques. Les différents modules sont alors assemblés par des ouvriers spécialisés. Le contrôle de la qualité s'en trouve facilité, toutes les opérations se déroulant en usine. Toutefois le transport est plus difficile et entraîne une capacité de production généralement plus faible.

Les maisons à panneaux usinés. À mi-chemin entre les maisons modulaires et la construction traditionnelle, ces maisons consistent en des panneaux fabriqués en usine et qui sont assemblés sur le chantier pour ériger la structure. Ces panneaux peuvent contenir plus ou moins d'éléments de finition comme l'isolation ou les coupe-vapeur. Cette technique permet une plus grande flexibilité sur le plan du design. Le transport vers le site est plus facile que pour la maison modulaire et ouvre la porte à la possibilité d'exporter.

Les maisons mobiles. Ces maisons sont construites en usine en une seule pièce et transportées sur le site par camion pour être déposées sur des fondations temporaires. Très abordable, ce type de construction reste cependant de qualité inférieure et sa réputation auprès des consommateurs est plutôt mauvaise.

Plusieurs autres systèmes hybrides existent : panneaux de PVC, maison en bois rond, maison pièce sur pièce, maison transportable, etc. Ce type de production demeure toutefois minoritaire dans l'ensemble de la production de maisons usinées au Québec.

4.4 L'état actuel de l'industrialisation de la construction

L'importance de l'héritage historique

La revue de ces quelques expériences internationales montre que les conditions de préfabrication et d'industrialisation du bâtiment sont largement tributaires des conditions géographiques et culturelles propres à chaque pays. La Suède, où le climat est comparable à celui du Québec, a connu dès le début du siècle des problèmes aigus de logement dans les centres urbains, à la suite des pressions démographiques liées à une industrialisation précoce. L'intervention gouvernementale dans le domaine de l'habitation s'est perpétuée depuis lors, sous de multiples formes qui ont fait de ce secteur l'un des moteurs de l'économie suédoise.

Au Japon, il est à remarquer que le marché visé par les manufacturiers d'habitations est celui des classes aisées, contrairement à l'Amérique du Nord où la maison mobile, principale représentante de la maison usinée, s'adresse aux classes moins nanties. La très haute densité de population favorise l'installation d'usines à proximité des sites de construction, ce qui devient un encouragement à la préfabrication des habitations en minimisant les coûts de transport.

Signalons également les ravages causés par les deux grandes guerres en Europe qui ont nécessité des efforts immenses de reconstruction, propices à l'expérimentation de méthodes de livraison massive et rapide d'unités d'habitation.

L'absence de pressions au Québec

Ces conditions sont à l'opposé de celles qu'on a connues au Québec, où l'industrialisation a été plus tardive. Les entreprises de construction y sont demeurées familiales et à petite échelle, l'autoconstruction étant même très courante jusqu'au milieu du siècle dernier. La faible densité de population n'a jamais engendré de pressions indues sur le logement ni constitué un facteur déterminant dans les modes de production. L'industrialisation de la construction n'a donc pas trouvé un terrain aussi fertile.

Une industrialisation partielle

Les composantes historiques, géographiques et humaines ont donc joué un rôle majeur dans les modes de livraison de logements et les modes d'intervention de l'État. Elles ont influencé localement et de façon complexe les processus de construction nationaux et les autres facteurs technologiques de production pour en arriver à une véritable différenciation des stades de développement de l'industrialisation du bâtiment, particulièrement dans le secteur résidentiel.

La complexité du processus comme obstacle principal

La complexité du processus de construction, liée à la multitude de besoins concurrents que doit satisfaire le produit fini, reste le principal obstacle à la production massive de bâtiments manufacturés. On doit faire appel à plusieurs corps de métiers spécialisés qui assureront l'installation des différents sous-systèmes composant le bâtiment. La nature même du « produit bâtiment », avec son coût d'acquisition élevé, sa longue durée de vie et les contraintes liées à son emplacement géographique, le distingue de la majorité des produits manufacturés à faible coût unitaire et sujets à des remplacements fréquents. Par

ailleurs, la demande doit être forte pour amortir les coûts des investissements majeurs nécessaires aux infrastructures de production de bâtiments usinés. Les expériences d'Habitat 67 et de l'opération *Breakthrough* aux États-Unis ont démontré la nécessité impérieuse de disposer d'un volume important d'unités de logement pour rentabiliser ces infrastructures. Le faible nombre de mises en chantier au Québec n'est pas propice à stimuler une industrialisation massive de l'habitation.

Le tableau 4.10 donne les principales caractéristiques du processus de construction des bâtiments, comparées à celles du secteur manufacturier, et qui entravent l'industrialisation complète de la construction

Tableau 4.10
Principales caractéristiques de la construction des bâtiments qui réduisent l'industrialisation de la construction

Secteur manufacturier	Construction
Site de production unique	Multiplés sites temporaires
Durée de vie des produits courte à moyenne	Longue durée de vie
Répétition et standardisation	Peu de standardisation ; projets uniques
Découpage et simplification des tâches	Plusieurs tâches manuelles complexes et spécialisées
Tâches accomplies sur des postes de travail	Tâches nécessitant des déplacements
Ergonomie des postes de travail	Conditions de travail variables
Main-d'œuvre stable	Conditions de travail précaires
Processus de décision uniformisé pour la conception, la production et le marketing	Processus de décision réparti entre le client, le concepteur, l'entrepreneur et le gouvernement

Source: Abraham Warszawski, *Industrialized and Automated Building Systems: A Managerial Approach*, 2^e édition, E&FN Spon, 1999.

Trois autres facteurs ont contribué à ralentir le développement de l'industrialisation de la construction de bâtiments³⁰ :

- la stagnation de la demande dans les pays industrialisés, couplée à une grande fragmentation de l'industrie, qui ne permettait pas les investissements majeurs requis pour rentabiliser les infrastructures de production ;

Autres facteurs défavorables

30. Abraham Warszawski, *op. cit.*

Les systèmes de construction industrialisés cohabitent avec les méthodes traditionnelles

- la mauvaise réputation des premières expériences de préfabrication de piètre qualité (on peut penser dans le contexte nord-américain à l'image de la maison mobile), qui ont laissé une image négative du bâtiment manufacturé auprès de la clientèle ;
- une faible diffusion des connaissances sur les principes de base de l'industrialisation du bâtiment auprès des concepteurs (architectes et ingénieurs).

Pour toutes ces raisons, le recours à des systèmes de construction industrialisés a cohabité avec les méthodes traditionnelles de construction à des degrés divers dans différents pays. Dans une étude sur les systèmes de construction ouverts, sur lesquels nous reviendrons, Arko Sarja définit huit stades d'industrialisation du bâtiment et répartit les différentes régions du globe en fonction du niveau d'industrialisation atteint³¹ (tableau 4.11).

Tableau 4.11
Les différents stades d'industrialisation du bâtiment et leur répartition par région

1. Construction manuelle à partir de matériaux locaux
2. Construction manuelle à partir de matériaux industriels
3. Construction manuelle avec de l'équipement à partir de matériaux industriels
4. Préfabrication en usine de certains composants
5. Systèmes de construction avec composants et modules préfabriqués
6. Systèmes de construction fermés avec composants et modules préfabriqués et conception et production assistées par ordinateur
7. Systèmes de construction ouverts avec composants préfabriqués provenant de différents fournisseurs
8. Application des concepts de système de construction ouverts

Région	Stade
Europe	4-8
Asie du Nord	3-6
Amérique du Nord	4-6
Russie et CEI	3-5
Asie du Sud-Est	1-6
Amérique du Sud	1-6
Moyen-Orient	5-6
Afrique	1-4

31. Arko Sarja, *Open and Industrialized Building*, E&FN Spon, 1998.

Les nouvelles conditions du marché, différentes de celles qui ont dominé lors de la production massive de bâtiments au sortir de la Deuxième Guerre mondiale, particulièrement en Europe, semblent de nouveau favorables à l'emploi de systèmes de construction industrialisés. Parmi ces conditions, on note :

- le besoin d'augmenter la productivité du secteur de la construction de façon à réduire les coûts reliés au bâtiment (sur le plan des délais de construction et des coûts de main-d'œuvre) ;
- des exigences croissantes au regard de la garantie de qualité ;
- des objectifs liés aux exigences du développement durable ;
- une pénurie de main-d'œuvre dans les pays industrialisés ;
- l'ouverture des marchés à l'exportation.

Les systèmes de construction industrialisés n'ont répondu que partiellement au cours des dernières décennies aux attentes du marché et ne sont pas parvenus à supplanter les méthodes traditionnelles. Parmi les nouveaux axes de développement nécessaires pour permettre une meilleure réponse à ces nouvelles conditions, il faut noter particulièrement :

- la préfabrication de composants plus complexes, incluant plusieurs éléments de finition, plus faciles à transporter, à manipuler et à assembler ;
- le passage à l'automatisation et à la robotisation de la préfabrication de composants ainsi que des tâches d'assemblage et d'entretien sur le chantier ;
- une plus grande flexibilité à l'étape du design, afin de répondre aux besoins spécifiques des clients et de permettre aux concepteurs un maximum de créativité à partir de composants standardisés. À cet égard, la production massive de certaines habitations à loyer modique (HLM) au cours des années 1960, en France notamment, constitue un échec retentissant de ces méthodes de production ;
- l'intégration à l'étape de la conception des contraintes liées aux méthodes de préfabrication et à l'utilisation de robots et de machines pour l'assemblage et l'entretien des bâtiments.

Dans ce nouvel environnement, l'une des formes que prend l'industrialisation du bâtiment est celle de systèmes ouverts (« open building systems ») qui diffèrent des systèmes traditionnels décrits plus haut, propriétés d'un fournisseur et donc relativement fermés. Bien que la standardisation des dimensions des différentes composantes ait grandement contribué au développement de la préfabrication, la plupart des systèmes demeurent incompatibles entre eux, particulièrement en raison d'interfaces d'assemblage différentes. La conception et le design s'en trouvent donc limités aux seules possibilités offertes par un même manufacturier, ce qui contribue à une certaine « monotonie » architecturale³². La nouvelle tendance vers des systèmes ouverts vise principalement l'assemblage de

32. Ype Cuperus, *An Introduction to Open Building*, Delft University of Technology, s. d.

composants fabriqués par des manufacturiers différents à travers un effort de standardisation des dimensions mais aussi des interfaces entre les composants. Par ailleurs, l'accès à un catalogue de composants interchangeables provenant de différents fournisseurs permet une plus grande liberté dans le design. L'accès à un plus vaste marché pour chaque composant dans un système ouvert devrait théoriquement favoriser une diminution des coûts de production, tout en facilitant le développement d'innovations grâce à une concurrence accrue entre fournisseurs. La Finlande et le Danemark sont les pays où les systèmes de construction ouverts ont trouvé leurs principales applications. Toutefois, l'effort de normalisation nécessaire pour en arriver à un système de construction totalement ouvert à l'échelle nationale ou internationale apparaît démesuré. On cherche donc à intégrer les points forts des systèmes ouverts et fermés à l'intérieur de systèmes flexibles³³. Des compromis entre la préfabrication de composants et le travail de finition sur le chantier sont inévitables.

*Les systèmes
ouverts favorisent
la flexibilité*

La notion de systèmes de construction ouverts ou de « bâtiment ouvert » prend différentes significations, selon que les auteurs considèrent les fonctionnalités du bâtiment ou sa structure physique. Elle renvoie toutefois toujours à une même préoccupation de flexibilité, autant dans le choix des composants que dans les modes d'occupation des bâtiments³⁴. Traditionnellement, les bâtiments commerciaux ou résidentiels étaient construits et optimisés en fonction d'une occupation prédéterminée, ce qui rend leur recyclage difficile lors d'un changement de vocation. Le bâtiment ouvert cherche à séparer en quelque sorte la structure architecturale de l'utilisation qui en est faite, de façon à en permettre l'adaptabilité. Il est conçu comme un système composé de sous-systèmes (structure, enveloppe, finition intérieure, communication...) qui ont des cycles de vie variables et qui peuvent être remplacés sans compromettre l'intégrité totale du bâtiment. Lorsque les conditions d'exploitation changent, il n'est pas nécessaire de démolir et de reconstruire. Il s'agit plutôt d'adapter l'ensemble des sous-systèmes aux nouvelles exigences. Le projet NEXT 21 (voir l'encadré) à Osaka, au Japon, peut servir d'exemple d'application. Les systèmes de construction ouverts se présentent comme une solution aux nouvelles exigences du marché du bâtiment.

4.5 Les nouvelles conditions d'industrialisation du bâtiment: une opportunité de développement

*La situation
au Québec*

Le marché intérieur québécois, particulièrement au niveau résidentiel, ne semble pas contenir d'encouragements à l'industrialisation du processus de construction. Le coût de construction d'un bâtiment au Québec, et particulièrement dans la région de Montréal, reste parmi les plus bas en Amérique du Nord et même dans

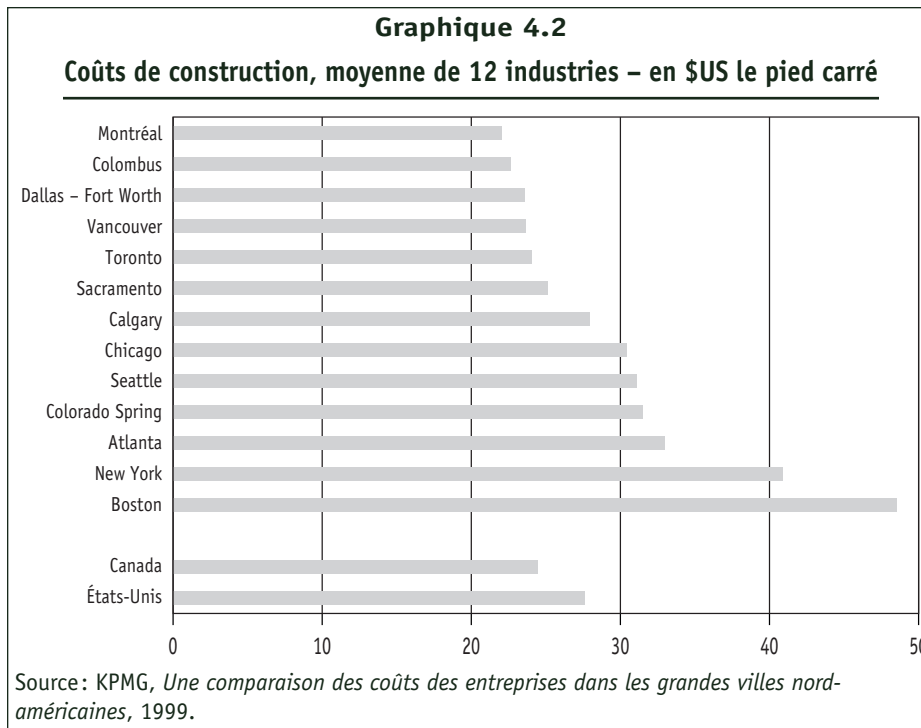
33. Abraham Warszawski, *op. cit.*

34. Voir à ce sujet Frank de Troyer, « System building or industrialised building: A review of approaches and a vision for the future » dans Asko Sarja, *op. cit.*, et David Gann, *Open Building*, SPRU, s. d., à consulter sur le site <www.rethinkinghousebuilding.org/h%5Cdocuments%5COpenBuilding.pdf>.

l'ensemble des pays industrialisés (graphique 4.2). Dans le secteur résidentiel, on ne dispose pas de statistiques fiables pour mener une comparaison internationale des coûts d'une maison à ossature de bois. Cependant les coûts d'acquisition d'une maison neuve (incluant le terrain) dans la région de Montréal demeurent également parmi les plus bas en Amérique du Nord (tableau 4.12). D'autres études, menées principalement au début des années 1990, démontrent en outre que les maisons préfabriquées n'arrivaient pas à permettre des économies suffisantes pour conquérir une part de marché plus substantielle³⁵. Ces données traduisent, entre autres choses, l'efficacité des méthodes traditionnelles de construction au Québec : celles-ci n'ont pas été délogées par les méthodes d'usinage, bien que les manufacturiers d'habitations aient l'avantage de ne pas être soumis aux décrets de la construction, ce qui réduit leurs coûts de main-d'œuvre.

Le mode de production d'habitations établi au cours des années est extrêmement efficace et tout changement apporté à ce processus tend à être ignoré par les constructeurs qui le maîtrisent parfaitement³⁶. Il n'est toutefois pas imperméable à l'innovation technologique et on a trop souvent tendance à opposer construction traditionnelle et construction industrialisée. Pourtant, le recours à des composants préfabriqués gagne en importance sur les chantiers traditionnels. On assiste donc à une certaine industrialisation « par composants » qui trouvent leurs débouchés en fonction des bénéfices qu'en retirent les constructeurs.

Un mode de production efficace



35. Voir en particulier Stefan J. Wiedemann, *op. cit.*, et Ginter inc. *Évaluation comparative des méthodes de construction usinées en regard de la construction traditionnelle*, SCHL, SHQ, 1991.

36. Avi Friedmann, *Innovation and the North American Homebuilding Industry*, École d'architecture, McGill University, 1989.

Tableau 4.12
Indice du prix moyen (ou médian) d'une maison neuve
dans certaines régions nord-américaines, 2000,
Montréal = 100 (Un indice élevé correspond au coût élevé d'une maison.)

Régions métropolitaines canadiennes	Maison neuve	
	Indice ¹	\$CA
Regina	92,7	156 962
Montréal	100,0	169 233
Halifax	101,1	171 045
Winnipeg	103,7	175 492
Ottawa	132,0	223 357
Calgary	133,5	225 996
Toronto	175,8	297 550
Victoria	189,5	320 728
Vancouver	248,0	419 625
Régions américaines²		
Midwest	106,8	180 749
Sud	114,6	193 967
Nord-Est	122,7	207 631
Ouest	165,2	279 515

1. Prix moyen d'une maison neuve au Canada et prix médian d'une maison existante aux États-Unis.

2. Taux de change utilisé pour la conversion: 1 \$US = 1,4852 \$CA.

Source: Société canadienne d'hypothèques et de logement et National Association of Realtors. Obtenu sur le site <www.infostat.gouv.qc.ca/vm/section2/2_2.htm?lg=fr&th=1&rt=1>.

*Absence
d'économies
d'échelle*

Les fabricants ne disposent pas au Québec d'un volume de mises en chantier suffisant pour amortir des infrastructures de production manufacturière massive et fortement automatisée d'habitations. Pour augmenter la viabilité de telles usines, on doit nécessairement se tourner vers l'exportation, particulièrement vers les États-Unis. La mise au point de systèmes basés sur la préfabrication de composants devient alors essentielle. En raison toujours de la grande fragmentation de l'industrie, les entrepreneurs ne disposent pas non plus de ressources importantes à consacrer à la R-D qui doit appuyer la mise au point de solutions durables et exportables.

Un intérêt accru envers l'industrialisation des méthodes de construction s'avère stratégique à deux titres : d'une part, afin de protéger le marché intérieur d'importations étrangères pouvant marginaliser les entreprises locales ; d'autre part, pour maintenir nos capacités d'exportation vers les pays importateurs, autant grâce à la qualité de nos produits qu'à la valeur du dollar. Des encouragements au développement de systèmes constructifs exportables se justifient par la forte proportion du PIB occupée par l'industrie de la construction.

Il apparaît peu probable que des constructeurs du Japon ou même de la Suède puissent accaparer, à court terme, une part importante de la préfabrication d'habitations au Québec, à cause de la faiblesse du dollar, des coûts de transport et des habitudes locales de consommation et de construction. Ces tendances devraient se maintenir à moyen terme. Il existe cependant un danger plus concret du côté des États-Unis ou des autres provinces canadiennes s'il s'y développait des systèmes de construction très performants, en particulier à la suite d'initiatives majeures comme le PATH. De la même façon, de tels systèmes trouveraient plus facilement preneurs sur les marchés importateurs.

À la lumière des différentes expériences passées en revue, il est clair que de telles initiatives nécessitent des moyens considérables, de même que la mobilisation et la concertation de plusieurs intervenants issus de disciplines et de secteurs différents. L'exemple du Japon, en particulier, montre que les fournisseurs de matériaux peuvent jouer un rôle déterminant dans la mise au point de systèmes de construction. On a vu au chapitre 2 que la majeure partie des innovations dans l'industrie de la construction viennent des fournisseurs de matériaux.

Forintek est le principal consortium de recherche au Canada dans le domaine des produits de bois à forte valeur ajoutée. Cet organisme a déjà évoqué l'importance stratégique du développement de systèmes de construction comme débouché majeur pour le bois d'ingénierie³⁷. Le design et la conception de tels systèmes axés sur les besoins des clients permettraient de consolider le recours au bois comme principal matériau pour les constructions de faible hauteur et de diversifier les types de bâtiments dans lesquels il est utilisé. Cette stratégie mériterait un effort important de R-D, multidisciplinaire et systémique.

Un autre exemple vient de l'aluminium. L'industrie de la construction constitue un débouché pour 20 % des produits finis de seconde transformation de l'aluminium. Pourtant, il y « a un besoin urgent de création et de diffusion des connaissances en transformation de l'aluminium³⁸ ». Parmi les projets technologiques jugés essentiels par les experts sectoriels qui ont participé à la rédaction de la carte routière technologique, on retrouve, entre autres, la mise au point de systèmes de construction modulaires en aluminium et la création de joints d'assemblage entre les structures de bois ou de plastique.

*Menaces éventuelles
à surveiller*

*Le rôle
des fournisseurs
de matériaux*

37. Industrie Canada et Forintek, *Carte routière technologique – bois de sciage et produits à valeur ajoutée*, 2001.

38. CQRDA, *Carte routière technologique de l'industrie canadienne de l'aluminium*, 2001.

L'intégration verticale est une autre stratégie d'accès aux marchés de la construction par les producteurs de matériaux. C'est ainsi qu'on a vu récemment la norvégienne Norsk Hydro se porter acquéreur de VAW, une entreprise spécialisée dans les systèmes de construction en aluminium. Plus près de nous et à une plus petite échelle, la Coopérative forestière de Girardville a acquis 81 % des actions de Domicilex, entreprise de construction de maisons usinées située au Lac-Saint-Jean.

*Une opportunité
de développement
pour les industries
en amont*

Il existe donc une opportunité de développement de nouvelles connaissances et de nouveaux produits à forte valeur ajoutée pour les industries qui se trouvent en amont des opérations de construction proprement dites. La possibilité existe également d'exploiter de nouveaux systèmes destinés aux intégrateurs de technologies que sont les entrepreneurs en construction. Le développement d'une interface de recherche et de transfert entre ces deux grands secteurs devrait favoriser l'introduction plus rapide de nouveaux matériaux et de nouvelles pratiques de construction sur le marché.

Dans le cas du bois, cette action revêt d'ailleurs une importance stratégique. Une forte proportion des exportations québécoises de matière ligneuse est dirigée vers les États-Unis sous forme de bois d'œuvre destiné au secteur de la construction. Les produits à forte valeur ajoutée ne représentent encore qu'un très faible pourcentage de la valeur des exportations totales de matière ligneuse.

Les entrepreneurs en construction ont acquis au fil des ans une grande expertise dans la construction de maisons à ossature de bois. Ce matériau est très bien adapté à notre climat : le risque immédiat est faible d'assister à son remplacement sur une grande échelle. Toutefois le bois subit une compétition de la part des filières de l'acier et du béton. Aux États-Unis, les fluctuations des prix du bois d'œuvre (une augmentation de près de 100 % en 1992), les pressions écologiques sur les modes d'exploitation des forêts et la disponibilité de la ressource rendent périodiquement attrayante la solution de remplacement proposée par l'acier. Le nombre de maisons à structure d'acier, bien qu'encore très marginal, serait en forte progression. Ce matériau comporte également certains avantages sur le bois sur le plan de la durabilité et de la résistance aux tremblements de terre, au feu et aux termites. En revanche, sa grande conductivité thermique nécessite une isolation supérieure et devient sa principale faiblesse. On a vu que le secteur du bâtiment commercial en acier était extrêmement bien structuré et misait sur l'utilisation de différents systèmes de construction. Pour l'instant, le prix des structures d'acier reste trop élevé pour le marché résidentiel, mais la possibilité d'une substitution demeure présente.

*Le bois d'ingénierie
offre un fort
potentiel*

La réponse de l'industrie du bois peut venir cependant du développement du bois d'ingénierie. Le bois d'ingénierie est constitué de fibres de bois retenues par des adhésifs qui permettent la fabrication en usine d'éléments structuraux (poutres, solives, planchers...). Ces derniers sont dotés de particularités mécaniques qui les rendent supérieurs au bois d'œuvre traditionnel. La mise au

point de systèmes de construction à base de bois d'ingénierie, dotés de caractéristiques architecturales attrayantes, est donc un créneau qui comporte un fort potentiel.

Trois partenaires, l'Université Laval, Forintek et l'Université de Colombie-Britannique, dans le cadre du «Projet pancanadien de valeur ajoutée en génie du bois», ont reçu récemment une enveloppe de 27 millions de dollars du gouvernement du Québec pour la construction d'un pavillon sur le campus de l'Université Laval qui accueillera des infrastructures de recherche. Un projet de chaire sur le bois d'ingénierie est également en élaboration à l'Université Laval. Ces projets s'adressent cependant à une étape de production située en amont du développement de composants ou de systèmes de construction.

Les producteurs de matériaux sont donc en compétition pour l'utilisation de leurs produits dans le domaine du bâtiment. La coopération demeure quand même possible. Le Structural Building Components Council (SBBC), aux États-Unis, réunit les représentants de l'industrie du bois et de l'acier au sein d'un comité chargé de faire la promotion de l'utilisation de composants préfabriqués. Parmi les domaines de coopération qui peuvent profiter à chaque industrie, on retrouve la conception des composants, la formation des techniciens, la gestion du risque et le contrôle de la qualité dans le processus de fabrication.

Parmi les autres stratégies susceptibles d'accélérer la mise au point de nouveaux systèmes de construction, les projets de démonstration comptent parmi les plus utiles. Cette forme de prototypage suit les essais en laboratoire qui servent à caractériser les performances physiques des composants et des matériaux et, éventuellement, à obtenir leur certification. La notion de prototype prend une signification particulière dans le domaine de la construction, puisque, chaque bâtiment étant unique, il constitue en quelque sorte à la fois un prototype et un produit fini. Les projets de démonstration sont destinés à vérifier le comportement des bâtiments dans l'environnement réel et à vérifier les processus de production et d'assemblage. Cet élément de prototypage est essentiel et fait partie des recommandations des nombreux groupes de travail qui se sont penchés sur l'industrialisation du bâtiment.

Les projets de démonstration

Les projets de démonstration peuvent être regroupés en trois grandes catégories :

- l'érection d'un bâtiment unique visant à démontrer la faisabilité d'une idée et à faire preuve de virtuosité dans le design ou l'utilisation de nouveaux matériaux, bâtiment qui n'est pas destiné à être reproduit ;
- les projets destinés à démontrer la possibilité de reproduire un type de construction en grande quantité, de façon à abaisser les prix rapidement ;
- les projets destinés à vérifier le comportement de différents matériaux et systèmes intégrés dans un même bâtiment. Il s'agit ici de mesurer les interactions entre différents composants testés individuellement en laboratoire.

*Un processus
continu*

Les projets du deuxième type sont ceux qui sont visés dans une stratégie de développement de systèmes de construction industrialisés. Un entrepreneur doit, par exemple, disposer d'un minimum de commandes pour évaluer les coûts d'une opération à plus grande échelle, d'une plate-forme locale d'expérimentation de nouveaux systèmes éventuellement destinés à l'exportation et d'une vitrine technologique démontrant la viabilité d'un projet dans un cadre d'opération réel.

On a assisté tout au long du 20^e siècle à une implantation progressive des techniques de préfabrication et d'assemblage, au détriment de la construction traditionnelle. Cependant, il semble que le développement des systèmes de construction n'ait pas apporté tous les gains de productivité escomptés³⁹, en raison soit des volumes de production trop faibles, qui n'ont pas permis de faire chuter le prix unitaire des bâtiments, soit des échecs de certaines expériences, particulièrement du côté des logements sociaux, qui ont laissé une mauvaise impression chez les acheteurs.

L'industrialisation de la construction n'a que rarement dépassé le stade de l'usinage simple et le processus de construction a lentement cloisonné les sous-processus de conception et de construction, isolant l'architecte, l'ingénieur et l'entrepreneur. Une forte proportion de l'industrie, fragmentée en très petites entreprises, est restée cantonnée dans les méthodes traditionnelles, ne disposant pas des ressources humaines et financières suffisantes pour investir dans la recherche, le développement et l'innovation.

Le recours à la préfabrication et à l'industrialisation de la construction n'est pas un problème uniquement technologique. Comme on l'a vu au chapitre 2, la structure organisationnelle des entreprises et le processus de construction ne favorisent pas l'innovation. Dès 1980, Sullivan écrivait : « *The problem of further industrialization in the building industry does not seem to be a technological one [...] The problem is instead an organizational one*⁴⁰. » C'est donc sur l'intégration des différents sous-processus de construction, à partir de l'utilisation des technologies de l'information, que misent la plupart des nouvelles initiatives axées vers l'industrialisation de la construction.

4.6 Constats

- La préfabrication de bâtiments est une technique qui remonte au 19^e siècle, mais qui n'est jamais parvenue à remplacer les méthodes de construction traditionnelles sur le chantier. Elle n'a généralement pas atteint des stades d'industrialisation très avancés.
- Même si les méthodes de construction traditionnelles demeurent les plus utilisées, particulièrement au niveau résidentiel, on assiste à un recours de plus en plus grand sur les chantiers à des composants préfabriqués en usine.

39. David Gann, *Building Innovation. Complex Constructs in a Changing World*, Thomas Telford, 2000.

40. Barry James Sullivan, *op. cit.*

- L'industrialisation de la construction de bâtiment procède d'une vision systémique qui englobe des aspects techniques, économiques et organisationnels et qui dépasse largement la simple notion de préfabrication de composants.
- Le Japon et la Suède sont en avance en ce qui regarde l'industrialisation de la construction d'habitations. On observe un intérêt marqué de la part des États-Unis pour ces techniques, à travers l'initiative PATH financée par le gouvernement fédéral.
- Au Québec, plusieurs entreprises sont actives en préfabrication. Quelques grandes entreprises dans le domaine des charpentes métalliques ont atteint des stades d'industrialisation élevés. Dans l'ensemble cependant, il s'agit avant tout de petites et moyennes entreprises spécialisées surtout dans le domaine des maisons usinées à ossature de bois, dont le degré d'industrialisation est beaucoup moins avancé qu'en Suède ou au Japon.
- Le contexte historique et culturel propre à chaque pays a grandement contribué à moduler l'intervention de l'État dans le domaine du bâtiment : la Suède, notamment, a ainsi pu prendre une avance technologique qui lui a permis d'exploiter très tôt les nouveaux marchés d'exportation.
- L'industrialisation de la production de bâtiment n'a été que partielle à cause de la complexité des tâches; elle a atteint des stades d'avancement très variés dans les différentes parties du monde.
- Les nouvelles conditions de marché sont propices à un regain d'intérêt pour l'industrialisation des méthodes de production de bâtiments.
- Les systèmes de construction industrialisés ouverts font l'objet d'une attention particulière un peu partout dans le monde.
- Le marché du Québec n'est guère incité à modifier les méthodes de production traditionnelle, surtout dans le domaine résidentiel, étant donné des coûts de construction très compétitifs.
- L'intérêt à l'égard du développement de systèmes de construction est lié au potentiel des marchés extérieurs qui viennent pallier la faiblesse du marché intérieur.
- Les fournisseurs de matériaux sont parmi les entreprises les mieux placées pour assurer le développement et la promotion de systèmes de construction, en raison de leurs capacités en recherche et développement.
- Dans le cas du bois, les systèmes de construction présentent un intérêt stratégique en raison de la concurrence exercée par les autres filières de matériaux.
- Les projets de démonstration comptent parmi les stratégies les plus utiles pour faire connaître et adopter des systèmes de construction.

NEXT 21 – OSAKA

Le projet expérimental NEXT 21 a pour objectif d'étudier les nouveaux besoins en habitation urbaine au 21^e siècle. Des spécialistes en conception et en planification urbaine, énergétique, architecturale et en services publics se sont réunis pour discuter des différents problèmes inhérents à leurs champs d'intervention respectifs. Le projet NEXT 21 devait favoriser ce processus. Il a pris fin en 1993.

Ce projet a utilisé des méthodes de « bâtiment ouvert » (« *open building* »). Une structure en béton a d'abord été érigée. Cette structure n'est pas considérée comme une tour d'habitation, mais comme une structure urbaine donnant accès à des trottoirs et à des espaces verts. Les unités d'habitation sont ensuite insérées dans cette structure. Les architectes ont accès à un catalogue de composants qui leur permet de varier le profil des unités s'insérant dans la structure de départ. Un système flexible de tuyauterie permet de localiser les cuisines et les salles de bain n'importe où dans la structure. Des espaces sont prévus sous les planchers et au-dessus des plafonds pour séparer les tuyaux de la structure et faciliter leur remplacement. La structure, l'enveloppe, les services et la finition intérieure ont tous été considérés comme des sous-systèmes indépendants. Le bâtiment constitue un tout, mais il peut être adapté. La réfection d'une unité de logement se fait de l'intérieur sans affecter les autres occupants.

Dépassant les préoccupations architecturales, on a installé différents systèmes de protection de l'environnement : système de traitement des eaux usées, système de récupération des déchets solides, utilisation de l'énergie solaire, etc.

5 Les technologies de l'information

L'utilisation des technologies de l'information dans le secteur du bâtiment est un champ d'étude extrêmement vaste et relativement récent¹. Ce champ couvre l'ensemble du processus de construction, de la conception à l'occupation du bâtiment. Il englobe des technologies très variées ; pensons notamment à la conception assistée par ordinateur (CAO ; l'acronyme CAO-DAO – CADD en anglais – est utilisé pour désigner l'ensemble des outils de dessin et conception par ordinateur), à la réalité virtuelle, aux machines contrôlées numériquement, aux logiciels de bureautique. Dans le cadre de cet avis, nous nous limiterons à l'examen de quelques technologies susceptibles de favoriser l'intégration des processus de construction et l'industrialisation du bâtiment, particulièrement à l'étape de la conception. De plus, nous aborderons rapidement la domotique, domaine considéré ici comme une branche des technologies de l'information plutôt que comme une discipline associée à l'architecture ou à la construction de bâtiments proprement dite.

Comme on l'a constaté dans les pages précédentes, l'organisation du travail dans un projet de construction diffère sensiblement de celle du secteur manufacturier. Les innovations technologiques ou organisationnelles s'y diffusent moins rapidement en raison du cloisonnement entre les différentes activités de conception, de construction et d'exploitation du bâtiment. En particulier, la rétroaction de l'information, qui va des utilisateurs vers les concepteurs et permet à ces derniers d'innover en modifiant le produit, est absente du processus de construction, alors qu'elle est à la base du processus de production manufacturière. L'une des stratégies qui s'imposent aujourd'hui dans la poursuite de l'industrialisation du bâtiment repose sur les technologies de l'information (TI) pour faciliter l'intégration des différentes étapes du processus de construction, de manière à ce que l'information soit partagée par tous les participants à un projet. Le secteur manufacturier, en particulier le secteur automobile, et les techniques de PDT (*Product Data Technology*), qui comprennent l'application des TI à l'ensemble des opérations de développement, de production et d'utilisation d'un produit tout au long de son cycle de vie, servent bien souvent de points de référence pour l'informatisation du processus de construction².

*Un champ d'étude
vaste et
relativement récent*

*Le recours aux TI
pour favoriser
l'innovation*

1. Bo-Christer Björk, « Information technology in construction : Domain definition and research issues », *International Journal of Computer-Integrated Design and Construction*, 1(1) (1999).

2. Bien que certaines réserves s'imposent, voir Bo-Christer Björk, *op. cit.*

*La fragmentation
de l'industrie
comme obstacle*

Les coûts importants en acquisition de matériel et en développement de logiciels ont longtemps limité de tels développements aux grands projets. La nature fragmentaire de l'industrie encourage peu l'adoption de TI de pointe coûteuses et, somme toute, relativement peu utiles pour de petites entreprises qui travaillent à l'intérieur du processus traditionnel déjà décrit. En ce qui regarde les entreprises de plus grande envergure, l'utilisation des TI reste tributaire du cloisonnement entre les activités de conception, de fabrication et de construction.

5.1 Portrait général de l'utilisation des TI dans le domaine de la construction

Dans l'évaluation de la pénétration des TI dans le secteur du bâtiment, il est important de distinguer les services de conception (architectes et ingénieurs) des services de fabrication (fournisseurs de matériaux et de composants) et des services de construction proprement dite (entrepreneurs).

Dans l'ensemble, les entrepreneurs ont été assez lents à adopter les nouvelles technologies, particulièrement dans le secteur résidentiel, pour les différentes raisons déjà évoquées (la très grande fragmentation de l'industrie et les capacités financières réduites des petites entreprises). Les entreprises de grande taille sont généralement beaucoup plus avancées au point de vue technologique que les plus petites. Une enquête³ sur l'informatisation des entreprises québécoises a été réalisée à l'été 1999. Comme cette enquête portait sur les entreprises de dix employés ou plus, elle a exclu d'office un grand nombre de petits entrepreneurs actifs surtout dans le secteur résidentiel. Elle donne tout de même un portrait général de la situation du secteur de la construction par rapport aux autres secteurs industriels.

*Faible utilisation
du courrier
électronique
et d'Internet*

Ainsi, les entrepreneurs en construction sont les plus faibles utilisateurs du courrier électronique et les plus faibles producteurs de sites Web au Québec. Ils sont parmi les moins branchés au réseau Internet et se classent avant-derniers pour la présence de spécialistes en sciences de l'information au sein de l'entreprise, tout juste devant le commerce au détail. En revanche, ils se démarquent pour les applications servant à la comptabilité (comptes à payer, comptes à recevoir, facturation et service de paie) et à la gestion de projet, occupant ici les premières places (tableau 5.1).

*Les applications
prisées : la
comptabilité et la
gestion de projet*

Ces chiffres contrastent avec les résultats obtenus par les services professionnels regroupant les architectes et les ingénieurs. Ils démontrent que les entrepreneurs accordent moins d'importance à la fonction de communication qu'à la fonction de gestion de projet et de personnel, ce qui confirme la dissociation entre les étapes de conception et de construction. Notons que l'utilisation de logiciels de gestion d'inventaire est également la plus faible enregistrée dans l'étude (22 %); c'est une indication possible du type de gestion des stocks présents sur les chantiers, lequel se fait de manière ponctuelle, comme nous l'avons signalé au chapitre 2.

3. Éric Lacroix et Brigitte Poussart, *L'informatisation des entreprises*, Isabelle Quentin, 2000.

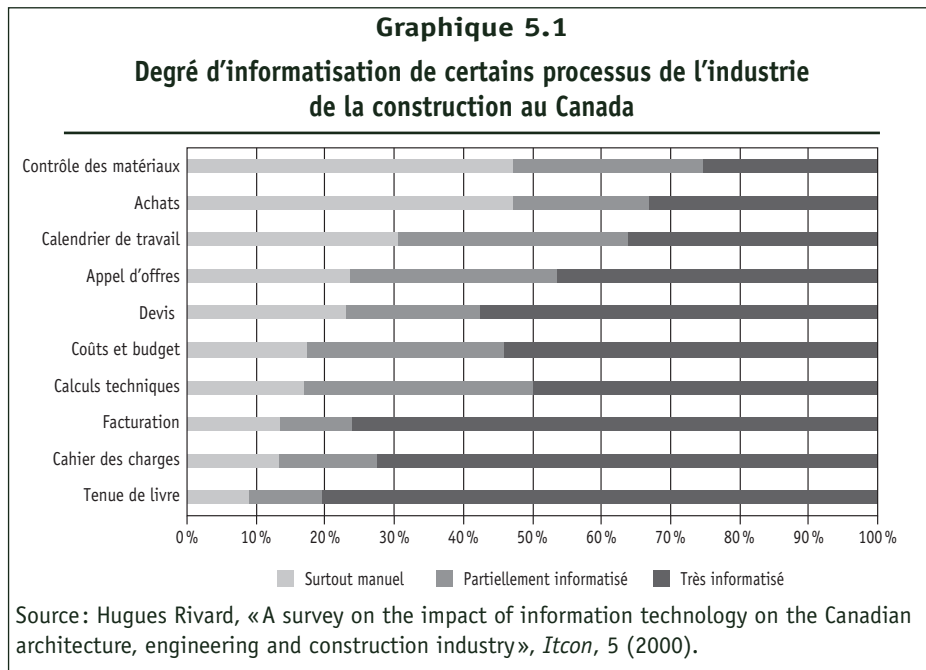
Tableau 5.1
Informatisation des entreprises au Québec

Secteur – technologie	Branchement à Internet	Spécialistes en TI	Courriel	Site Web	Système de gestion de base de données	Comptes à recevoir	Service de paie	Gestion des inventaires	Planification et suivi de projets
Ensemble des établissements informatisés	65,1	22,8	90,7	57,7	47,4	79,7	71,8	47,3	27,6
Primaire	73,5	17,2	85,9	29,5	42,6	87,6	88,9	43,6	37,6
Construction	63,9	11,3	75,3	32,1	30,6	97,8	92,6	22,0	46,8
Fabrication (faible savoir)	76,8	25,3	89,4	47,6	45,6	87,8	74,1	60,8	36,7
Fabrication (moyen savoir)	72,1	33,2	92,9	52,7	47,6	95,7	81,8	59,9	27,7
Fabrication (haut savoir)	87,9	50,9	94,2	67,5	67,6	91,9	80,2	74,3	44,8
Commerce de gros	72,9	19,8	89,5	53,8	54,9	92,3	60,2	79,8	12,7
Commerce de détail	44,1	9,3	92,5	57,4	35,7	70,8	64,5	55,5	13,6
Transport et entreposage	69,2	24,2	83,2	64,5	48,0	88,7	71,5	41,8	24,2
Industrie de l'information et culturelle	93,4	52,3	n. d.	81,7	67,7	89,2	78,5	48,0	45,7
Finances, assurances, immobilier	69,2	24,4	86,8	90,7	67,0	65,7	51,1	35,5	33,6
Services professionnels, scientifiques et techniques	97,4	58,8	99,4	70,6	63,5	96,7	83,1	40,8	62,9
Services administratifs	74,5	25,7	92,6	49,8	58,6	93,8	81,2	56,9	34,0
Autres, secteur tertiaire	51,1	15,6	93,5	55,6	41,3	57,5	67,8	27,8	18,3

Source : Éric Lacroix et Brigitte Poussart, *L'informatisation des entreprises*, Isabelle Quentin, 2000.

Peu d'impact des TI sur le contrôle des matériaux

Une autre étude⁴ (dans ce cas les données englobent les entrepreneurs et les concepteurs) reprend ce dernier point. Elle nous indique que les opérations de tenue de livres sont presque entièrement informatisées, alors que le contrôle des matériaux est encore effectué de façon manuelle dans près de la moitié des cas (graphique 5.1). L'introduction des TI n'aurait eu qu'un très faible impact sur cet aspect du processus de construction, en raison soit de la faible qualité des logiciels disponibles, soit de la complexité de la tâche, tributaire des conditions climatiques et de la disponibilité de travailleurs. Le contrôle des matériaux est géré de façon informelle, surtout dans les petits chantiers. Plusieurs producteurs de logiciels portant sur la construction incluent cet élément de gestion dans leur suite logicielle.



Une enquête de Statistique Canada

Les données de l'enquête de Statistique Canada sur l'industrie de la construction, qui s'est déroulée en 1999, contribuent à une définition encore plus précise de la pénétration des technologies à l'intérieur du groupe des entrepreneurs (tableau 5.2). Cette enquête visait l'ensemble des entreprises ayant un chiffre d'affaires supérieur à 50 000 \$: elle permet ainsi une lecture beaucoup plus juste de la réalité. Le courrier électronique, technologie pourtant bien implantée, ne reçoit que 37,8 % de réponses positives. Les entrepreneurs du secteur résidentiel ne l'utilisent que dans une proportion de 22,9 %, comparativement à 50,3 % de ceux du secteur non résidentiel. La gestion informatisée de projets est utilisée par 16,1 % des entrepreneurs du secteur résidentiel, mais par 46,3 % des entrepreneurs du non-résidentiel. Ces deux

4. Hugues Rivard, «A survey on the impact of information technology on the Canadian architecture, engineering and construction industry», *Itcon*, 5 (2000).

technologies étaient également moins courantes au Québec, au moment de l'enquête, que dans l'ensemble du Canada (tableau 5.3). Cependant, si l'on considère les intentions d'achats dans les deux prochaines années, les entreprises québécoises prennent l'avance. L'informatisation semble donc se faire à un rythme accéléré au Québec.

Informatisation à un rythme accéléré au Québec

Tableau 5.2
Pourcentage d'utilisation de certaines technologies, selon le type d'entreprise, au Canada, 1999

Secteur – technologie	Courriel	Contrôle informatisé des stocks	Systèmes informatisés de gestion de projet
Échantillon total	37,8	10,6	28,1
Entrepreneurs spécialisés – Résidentiel	37,2	6,4	31,5
Entrepreneurs spécialisés – Non-résidentiel	39,5	15,5	33,0
Entrepreneurs – Résidentiel	22,9	7,7	16,1
Entrepreneurs – Non-résidentiel	50,3	18,0	46,3

Source: Georges Seaden *et al.*, *Analyse de l'enquête sur l'innovation, les technologies et pratiques de pointe dans l'industrie de la construction et les industries connexes, 1999*, Statistiques Canada, 2001.

Tableau 5.3
Pourcentage d'utilisation de certaines technologies, selon la région, au Canada, 1999

Secteur – technologie	Courriel	Contrôle informatisé des stocks	Systèmes informatisés de gestion de projet
Canada	38	13	31
Québec	33	12	26
Ontario	44	12	39

Source: Frances Anderson et Susan Schaan, *L'innovation, les technologies et pratiques de pointe dans l'industrie de la construction et les industries connexes: Estimations provinciales*, Statistiques Canada, 2001.

Les applications plus complexes limitées aux grandes entreprises et aux services d'architecture et de génie

L'utilisation des TI chez les entrepreneurs en construction se concentre sur les applications simples et bien maîtrisées, celles qui ont un impact rapide sur la productivité de l'entreprise. Dans cette optique, les applications de pointe ou d'un niveau de complexité plus élevé demeurent limitées aux très grandes entreprises ou aux fonctions de design et de conception qui relèvent des services professionnels d'architecture ou de génie.

5.2 La conception

L'utilisation des TI, dans le secteur du bâtiment, s'est surtout imposée à l'étape de la conception chez les architectes et les ingénieurs par le recours à divers outils CAO, le logiciel AutoCad étant le plus répandu. Les logiciels de CAO nécessitent des ordinateurs puissants pour permettre le calcul et la représentation d'éléments graphiques ainsi que des imprimantes sophistiquées pour rendre les informations sur papier à l'échelle appropriée. Cette contrainte financière les a mis hors de portée de plusieurs petites firmes, ralentissant d'autant la pénétration de cette technologie, surtout chez les entrepreneurs, et contribuant à limiter les échanges électroniques de données entre les concepteurs et les entrepreneurs (tableau 5.4).

Tableau 5.4
Pourcentage d'entreprises utilisant des outils CAO au Canada, 1999

Secteur	%
Architectes	92,9
Ingénieurs	91,2
Entrepreneurs	26,2

Source: Hugues Rivard, *op. cit.*

La conception assistée par ordinateur surtout utilisée dans le non-résidentiel

Les données de l'enquête de Statistique Canada (tableau 5.5) révèlent que chez les entrepreneurs la conception assistée par ordinateur est quatre fois moins utilisée dans le secteur résidentiel que dans le secteur non résidentiel. Ces chiffres traduisent aussi l'absence des architectes et des ingénieurs dans la plupart des projets liés au secteur résidentiel. L'échange de données numériques entre les différents partenaires d'un projet reste une pratique peu courante et la transmission d'information se fait de façon traditionnelle, sur papier. La lenteur des communications informatiques demeure l'un des principaux obstacles à l'implantation des TI, avec les habitudes de travail (il est plus facile de consulter un plan sur papier lorsqu'on travaille sur un chantier). Ces technologies sont également moins répandues au Québec qu'en Ontario et dans l'ensemble du Canada (tableau 5.6).

Tableau 5.5

**Pourcentage d'utilisation de certaines technologies,
selon le type d'entreprise, au Canada, 1999**

Secteur – technologie	CAO	Modélisation ou simulation	Échange électronique de fichiers CAO
Échantillon total	20,5	4,5	7,4
Entrepreneurs spécialisés – Résidentiel	25,8	2,8	2,5
Entrepreneurs spécialisés – Non-résidentiel	21,7	5,7	13,3
Entrepreneurs – Résidentiel	7,1	2,6	4,6
Entrepreneurs – Non-résidentiel	30,8	9,1	11,5

Source : Georges Seaden *et al.*, *op. cit.*

Tableau 5.6

**Pourcentage d'utilisation de certaines technologies,
selon la région, au Canada, 1999**

Secteur – technologie	CAO (c44)	Modélisation ou simulation	Échange électronique de fichiers CAO
Canada	23	7	11
Québec	12	3	5
Ontario	31	9	11

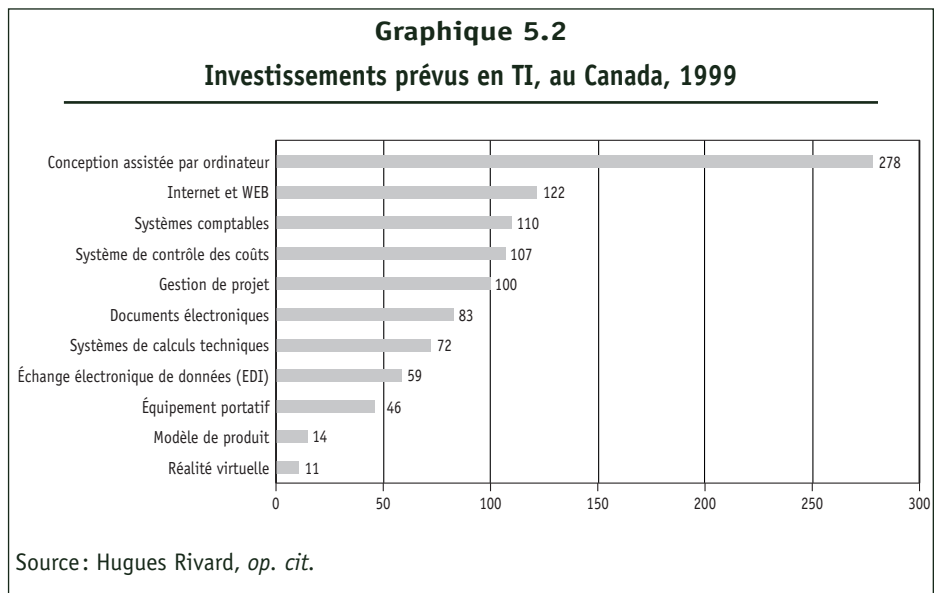
Source : Frances Anderson et Susan Schaan, *op. cit.*

Les outils CAO se retrouvent donc surtout chez les architectes et les ingénieurs. Toutefois, c'est dans l'informatisation du dessin lui-même, en deux dimensions (2D), que se sont concentrées ces applications. Au Canada, la représentation des bâtiments en 3D occupe à peine 5 % du temps d'utilisation des logiciels CAO, alors que la modélisation à partir d'objets incorporant les caractéristiques et les relations de chaque composant avec le bâtiment (« *product model* ») n'en utilise que 1 %. À titre comparatif, ajoutons que ces applications prennent respectivement 22 % et 13 % du temps d'utilisation en Finlande, 24 %

et 11 % en Suède, 8 % et 4 % au Danemark⁵. L'utilisation de bases de données couplées aux systèmes CAO permettant de donner une représentation fonctionnelle du bâtiment n'est pas encore répandue au Canada et au Québec. La simulation et la réalité virtuelle sont encore des outils de travail sous-exploités.

*On en est encore
au premier stade
de l'informatisation*

Les technologies de pointe ne font pas non plus partie des priorités à court terme des entreprises, comme le montre le graphique 5.2. L'industrie en est encore au premier stade de l'informatisation et doit consolider l'utilisation de TI déjà éprouvées. La modification radicale des processus d'affaires par l'introduction de TI de pointe et l'intégration des processus de travail sont donc des pratiques encore réservées à des projets très particuliers. Le coût d'acquisition et de renouvellement de l'équipement informatique est l'un des principaux freins à l'introduction des TI dans les petites entreprises⁶.



*Un exemple
d'intégration
réussie: le musée
Guggenheim à
Bilbao*

Un des meilleurs exemples récents d'intégration des grandes phases de construction d'un bâtiment grâce aux TI est la construction du musée Guggenheim, à Bilbao en Espagne (voir l'encadré). Bien qu'il soit unique, ce projet démontre qu'au-delà des innovations technologiques qu'il renferme c'est l'organisation du travail qui recèle les innovations les plus intéressantes⁷. Ce projet pourrait préfigurer le mode de fonctionnement de l'industrie, lorsque le coût des TI associées aura baissé et que les méthodes de gestion de projet se seront diffusées vers l'ensemble des projets de moindre envergure.

5. Hugues Rivard, *op. cit.*; Rob Howard *et al.*, « Surveys of IT in the construction industry and experience of the IT Barometer in Scandinavia », *Itcon*, 3 (1998).

6. Hugues Rivard, *op. cit.*

7. Michael Schrage, « Nice building, but the real innovation is in the process », *Fortune*, juillet 2000.

Le musée Guggenheim de Bilbao

Le musée Guggenheim de Bilbao n'aurait pu être construit sans le recours aux technologies de l'information⁸. Ce projet, qui s'est étalé de 1993 à 1997, est un exemple typique de la façon dont les TI redessinent le processus de construction, en intégrant les phases de conception, de fabrication et de construction.

Ce musée est l'œuvre de l'architecte torontois Frank Gehry. Son design repose sur l'utilisation de lignes courbes et il a été d'abord représenté au moyen d'une maquette faite à la main. Cette maquette a ensuite été numérisée à partir d'un scanner 3D conçu initialement pour la numérisation d'une tête humaine, à des fins d'interventions chirurgicales. Les données obtenues ont servi à créer des modèles numériques. Ces courbes étaient difficiles à modéliser à l'aide des systèmes CAO traditionnels (AutoCAD ou MicroStation utilisant des méthodes polygonales pour la représentation de surfaces). On a donc eu recours au logiciel CATIA, de la firme Dassault, conçu pour le design d'avions et d'automobiles et exploitant une autre forme de représentation des surfaces, les « *splines* ».

L'utilisation de CATIA a permis une meilleure définition de chaque élément constituant la structure du bâtiment. Des simulations structurales basées sur des méthodes de prototypage rapide ont été menées et les données obtenues ont été transmises électroniquement au fabricant de matériaux. Chaque pièce préfabriquée était identifiée avec un code à barres et ultérieurement installée sur le site par le constructeur à l'aide d'un système de positionnement au laser relié à la base de données de CATIA. Ces techniques étaient courantes dans l'industrie aérospatiale, mais inédites dans le domaine de la construction.

Le processus de construction du musée de Bilbao a placé le concepteur au centre du projet et a permis de le relier à tous les intervenants. C'est le concepteur qui a produit les données nécessaires à l'ensemble du projet. La base de données de CATIA a servi à fabriquer les composants à partir de méthodes de fabrication assistée par ordinateur (FAO), reprenant les données du concepteur. L'installation des composants s'est également faite en utilisant les mêmes données. Ce processus a en outre minimisé les pertes dues aux défauts de fabrication et aux ajustements sur le site.

Ce type de projet exploite les limites des technologies disponibles et pave la voie à des améliorations dans la conception de logiciels, transférables à l'ensemble du secteur. Les outils CAO traditionnels, qui sont à la portée de la majeure partie des firmes, ne sont pas encore dotés de toutes les fonctionnalités pouvant assurer un soutien maximal aux architectes et aux ingénieurs. Le CAD Council Principals, un regroupement d'experts américains en design architectural, a évalué en 1999 les outils CAO mis à la disposition des architectes et a émis un certain nombre de réserves sur leur efficacité. Si les logiciels permettent une amélioration du

*La diffusion vers
des projets de
moindre envergure
reste à faire*

8. Adrienne Pauly, « The reintegration of the architect », <<http://usa.autodesk.com>>.

*La complexité,
un frein au rythme
de pénétration
de TI dans
la conception
de projet*

dessin, ils n'ont pas d'impact sur le processus de conception proprement dit. Ils pourraient même avoir un impact négatif sur la profession. Pour être pleinement efficace, la CAO doit donner une représentation fonctionnelle des bâtiments, non une série de dessins commentés. Au chapitre des observations et des améliorations souhaitées, mentionnons :

- une plus grande convivialité est nécessaire. Les mises à jour fréquentes des logiciels ralentissent les apprentissages et nuisent à la productivité ;
- les outils CAO sont orientés « dessin » plutôt que « design », ce qui entrave le travail et la créativité de l'architecte ;
- la CAO devrait permettre une évaluation automatique des modifications apportées au design, en intégrant divers outils d'aide à la conception (simulation structurale ou énergétique, vérification des interactions entre les systèmes, compatibilité avec les codes du bâtiment, etc.) ;
- une évaluation automatique des modifications du design au niveau de la gestion de projet, des coûts et des échéanciers est souhaitable ;
- il faut introduire une plus grande flexibilité dans les sorties graphiques ;
- il est important de favoriser la compatibilité des échanges entre organisations différentes.

Ces demandes reflètent la complexité du travail de design et de conception qui fait appel à de nombreux experts. Cette complexité explique en partie pourquoi les outils informatiques pénètrent le secteur du bâtiment à un rythme moins rapide qu'on pourrait le souhaiter. Les outils de conception disponibles n'ont pas toujours été à la hauteur des exigences de la profession.

5.3 La fabrication assistée par ordinateur

Si les TI redéfinissent la place de l'architecte ou du concepteur dans le processus de construction, comme le montre l'exemple de Bilbao, elles modifient également le mode de fabrication des divers composants, grâce à l'utilisation des méthodes de fabrication assistée par ordinateur (FAO). Puisque le design de l'architecte peut être représenté par un ensemble de données numériques, ces mêmes données peuvent être utilisées par des machines-outils à commande numérique (*Computer Numerically Controlled* ou CNC) pour produire des composants préfabriqués de manière industrielle aux stades d'automatisation et de robotisation décrits plus haut.

Les usines japonaises ou suédoises de préfabrication de composants se démarquent nettement par l'utilisation de machines et de robots contrôlés par ordinateur. La compagnie japonaise Misawa, par exemple, utilise un système automatisé de production de murs extérieurs fabriqués au moyen d'un béton léger nommé PALC (*Precastable Autoclaved Lightweight Concrete*). La chaîne de production débute avec une armature d'acier placée dans un moule pouvant

*Le Japon
et la Suède en tête
de peloton*

créer une variété de finis. Le PALC est inséré dans le moule, puis séché dans des fours après le démoulage. Les murs sont ensuite peints avant d'être assemblés en modules sur une autre ligne de montage.

Un autre exemple de la FAO nous est donné par la compagnie Myresjöhus, le plus grand fabricant de maisons usinées en Suède. L'usine compte plusieurs bâtiments et fabrique des murs, des planchers et des fermes de toit. Les chaînes de production occupent des bâtiments différents et sont équipées de tables informatisées et de divers appareils contrôlés par ordinateur, comme des applicateurs de colle ou des stations de clouage automatisées⁹.

Outre les économies associées à la diminution des besoins en main-d'œuvre, les techniques de CAO-FAO permettent de fabriquer des composants avec une plus grande précision et d'assouplir les modes de fabrication en modifiant les paramètres des bases de données. Parmi les autres bénéfices importants, mentionnons¹⁰ :

- la production économique de séries de composants adaptés aux besoins particuliers d'un client. Il devient aussi facile de produire des composants irréguliers que des composants en série ;
- le degré de précision de la fabrication et de la conception, qui limite les corrections à apporter ultérieurement sur le site de la construction ;
- l'exploitation optimale des matériaux, qui engendre moins de déchets qu'au cours des opérations traditionnelles.

Les TI pourraient s'avérer un moyen de contourner l'une des plus grandes contraintes du 20^e siècle pour la préfabrication de composants, c'est-à-dire le besoin de reproduire en grande quantité des éléments identiques afin d'atteindre un seuil de rentabilité. L'accès à une production sur mesure de masse (*mass customization*) permettrait alors de produire industriellement des maisons personnalisées, mais à des coûts abordables. Ce concept commence à se diffuser dans divers secteurs manufacturiers (mentionnons les ordinateurs Dell, par exemple) ; il nécessite une intégration poussée de toutes les phases du cycle de vie d'un produit, basée sur des systèmes d'information sophistiqués et liant la commande du client à des outils de conception, de fabrication, de gestion des composants et d'assemblage. La complexité d'un bâtiment ou d'une maison, du point de vue du nombre de composants, dépasse cependant largement celle d'un ordinateur. La compagnie japonaise Sekisui, on l'a vu, emploie néanmoins de tels systèmes.

Des chercheurs allemands, de l'Institut Fraunhofer (spécialisé en techniques de production et d'automatisation), ont récemment mis au point un concept de logistique pour petites et moyennes entreprises du bâtiment à ossature de bois.

*Plusieurs bénéfices
associés
aux techniques
de CAO-FAO*

*Un seuil
de rentabilité
potentiellement
plus grand*

9. Paul Fazio et Louis Poliquin, *op. cit.*

10. Abraham Warszawski, *Industrialized and Automated Building Systems: A Managerial Approach*, 2^e édition, E&FN Spon, 1999.

Leur objectif était de passer à un mode de production de masse sur mesure. Selon ce concept, la maison est décomposée en modules et les composants préfabriqués (pièces, balcons, escalier...) peuvent être combinés sur demande. Les simulations obtenues ont donné des résultats encourageants : diminution de la durée des contrats de l'ordre de 40 %, augmentation du chiffre d'affaires de 20 %, diminution des commandes hors délai de 40 %¹¹.

5.4 La modélisation et la simulation

Évaluation de la performance énergétique des bâtiments

Les technologies de simulation sont destinées à représenter dans un environnement numérique le comportement d'un bâtiment ou de sous-systèmes particuliers, à partir d'un certain nombre de variables (on exclut ici les simulations de matériaux ou de composants). Tous les sous-systèmes du bâtiment peuvent faire l'objet d'une modélisation ou d'une simulation. Par exemple, le logiciel SAFI, créé au Québec, permet de modéliser et d'optimiser une structure complexe en acier ou en béton, suivant différents paramètres ou standards industriels. Toutefois, c'est dans l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments, des échanges thermiques, de la climatisation que s'est principalement développé ce domaine. Ces simulations sont assez complexes, puisqu'elles doivent tenir compte de l'interaction entre des systèmes indépendants dans des conditions d'occupation variables. Le recours aux simulations a pour principal avantage de remplacer la construction d'un prototype coûteux pour l'évaluation du design ou des matériaux utilisés. Dans le cas d'un bâtiment, ainsi que nous l'avons déjà mentionné, le prototype et le bâtiment étant souvent un seul et même objet, le recours à la simulation s'avère encore plus intéressant. L'International Building Performance and Simulation Association (IBPSA) est le principal acteur international dans ce domaine et il est représenté au Canada par IBPSA-Canada dont font partie des chercheurs québécois. Des conférences bisannuelles sont organisées par les deux organismes.

Techniques peu utilisées au Québec

Ces techniques sont très peu utilisées dans le domaine du bâtiment, comme l'indique le tableau 5.5. D'autres estimations révèlent que les techniques de modélisation des performances énergétiques des bâtiments seraient probablement utilisées au Québec dans moins de 10 % des nouvelles constructions¹². Ces techniques sont généralement réservées à des projets de très grande envergure. La difficulté d'entrée des données est l'une des causes majeures du manque d'enthousiasme que ces techniques suscitent. Il faut par exemple plus de deux semaines pour saisir la géométrie d'un bâtiment complexe à l'aide d'un logiciel sophistiqué de modélisation énergétique¹³. Les logiciels disponibles ont été

11. « Industrialisation du processus de construction des maisons avec structure de bois », article n° 1175, 2 avril 2002, <www.bois-forêt.info>.

12. Laurier Nichols, « La modélisation des systèmes énergétiques de bâtiment – un outil de décision », conférence donnée au *e-sim* 2001.

13. Vladimir Bazjanac et Drury B. Crawley, « The implementation of industry foundation classes in simulation tools for the building industry ».

conçus à des fins de recherche et s'avèrent lourds dans des opérations normales¹⁴. Plusieurs logiciels de simulation provenant de fournisseurs différents et traitant différents sous-systèmes peuvent demander de nouvelles saisies ou une restructuration des données. L'une des façons de contourner le problème consiste à mettre au point des outils d'aide à la conception (*design tools*) qui soient intégrés aux logiciels CAO les plus courants. On peut prévoir que la standardisation des données favorisera une meilleure pénétration de ces outils.

*La lourdeur
des opérations,
un obstacle majeur*

Le Québec dispose d'une expertise enviable dans ce secteur d'activité. Ainsi, la Société d'informatique et de recherche pour l'industrie de la construction (SIRICON), fondée dans les années 1980 par le Centre du bâtiment de l'Université Concordia, se spécialisait dans l'arrimage entre la recherche universitaire et l'industrie. Elle s'est incorporée en société dans les années 1990. Ce groupe de recherche a développé une expertise dans le domaine des performances du bâtiment et du développement de logiciels de simulation. L'entreprise a été acquise en 2000 par la firme GES, laquelle commercialise une série de logiciels intégrés sur la performance du bâtiment.

5.5 La standardisation des données

Pour permettre l'échange de données entre les différents acteurs d'un processus, il faut recourir à un langage commun. L'élaboration d'une représentation standardisée des divers éléments d'un bâtiment est actuellement l'un des domaines de recherche parmi les plus actifs. Un standard *de facto* s'est développé dans l'industrie. Il s'agit du format DXF du logiciel AutoCAD, qui a notamment donné naissance au concept d'armoire à plans par la structuration des différentes couches du dessin d'architecture : un logiciel de dessin CAO utilise un certain nombre de « couches » qui agissent à titre de calques et permettent la représentation des différents sous-systèmes. La superposition de ces couches permet de reconstituer le plan complet. L'entreprise québécoise ArchiDATA offre ce type de service. Toutefois, la nature « propriétaire » d'un tel format cause des problèmes de compatibilité entre les différents logiciels et versions de logiciels CAO. De plus, les formats de type DXF se limitent à l'information géométrique et sont mal adaptés à la représentation des données sur les produits.

*La représentation
standardisée
des éléments
d'un bâtiment*

La norme STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data*) est une initiative de l'ISO pour standardiser la description informatique des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un produit sans tenir compte des systèmes informatiques en usage. Cette norme vise plusieurs types d'industries : automobile, aérospatiale, électronique, construction navale, etc. Un des groupes de travail se consacre au bâtiment. Un bâtiment peut être représenté selon ce standard comme un ensemble d'éléments (poutres, colonnes, fenêtres...), constitués de certains matériaux (bois, acier...). La norme permet l'interfaçage avec différents langages de programmation et définit la structure physique des fichiers d'échange. Elle favorise en particulier l'échange de données entre différentes applications de CAO et de FAO, par exemple.

14. Antti Karola *et al.*, « Simulation data management in the design process ».

Toutefois, devant la lenteur de l'initiative de l'ISO, un regroupement de constructeurs et de fabricants de logiciels CAO (dont Autodesk, concepteur d'AutoCAD, et Bentley, concepteur de MicroStation) a entrepris une initiative complémentaire à celle de l'ISO. IAI (International Alliance for Interoperability) s'adresse spécifiquement au secteur du bâtiment. L'organisme compte plus de 300 membres et est organisé en différents chapitres internationaux (Japon, Amérique du Nord, Grande-Bretagne, France...). Sa mission est de promouvoir l'utilisation d'un langage commun appelé IFC (*Industry Foundation Classes* ou Classes fondation). Ce langage est un ensemble d'objets représentant un bâtiment, qui permet de partager l'information tout au long d'un projet. IFC se situe à un niveau hiérarchique inférieur à celui de STEP, et est de ce fait beaucoup plus précis. Il emprunte cependant au standard de l'ISO un certain nombre d'éléments, dont le format physique des fichiers et la représentation géométrique des objets. Les deux approches sont donc complémentaires et un protocole d'entente permet aux deux groupes d'assurer la compatibilité de leurs résultats¹⁵.

Un autre standard émergent qu'il convient de signaler est celui du aecXML basé sur le langage de balisage XML. Ce standard vise essentiellement l'exploitation du Web, alors que l'IFC s'intéresse surtout aux échanges de fichiers. Les deux approches sont à nouveau complémentaires malgré quelques chevauchements¹⁶. Depuis janvier 2002, les développements du aecXML se font sous la gouverne de l'IAI.

D'autres initiatives nationales ont poursuivi des objectifs similaires d'intégration des fonctions de conception, de production et de gestion, mais les IFC occupent maintenant tout l'espace. Des initiatives plus sectorielles, comme BACnet et ASHRAE en domotique et CIMsteel dans l'industrie de la structure en acier, cherchent également à faciliter les échanges d'information. Leur potentiel d'intégration des processus est important.

5.6 Les TI comme outils d'intégration du secteur du bâtiment

*Les TI à la base
d'un vaste
programme
de réingénierie
des processus*

La plupart des travaux consultés, qu'ils viennent des États-Unis, de la Grande-Bretagne ou d'Australie, s'entendent sur l'importance primordiale à accorder aux TI pour accélérer le processus d'industrialisation de la construction. Somme toute, le secteur du bâtiment est convié à un vaste programme de réingénierie des processus sur le modèle du secteur manufacturier.

Une étude du National Institute for Standards and Technology (NIST)¹⁷ a démontré l'impact positif des TI sur le processus de construction. Cette étude portait sur différents projets dans les secteurs des travaux d'ingénierie et du

15. Philippe Debras *et al.*, « From product data technologies to applications: Illustrative cases in the AEC domain », *CIB-W78 Conference Information Technology in Construction*, Stockholm, 3-5 juin 1998.

16. Geoff Harrod, « aecXML & IFC », <web www.cadinfo.net>.

17. Stephen Thomas, *Impacts of Design/Information Technology on Project Outcomes*, NIST, 1999.

bâtiment. Elle a conclu qu'il existe une corrélation positive entre la performance d'un projet, lorsqu'elle est mesurée en termes de bénéfices financiers et de réduction des délais, et l'utilisation des TI. Quatre technologies ont été évaluées : les codes à barres, le dessin en 3D, l'échange électronique de documents (EDI) et les bases de données intégrées. C'est le dessin 3D qui a donné les meilleurs résultats. Il était cependant la technologie la mieux maîtrisée au départ par les entreprises qui ont participé à l'étude. L'une des conclusions importantes révèle que l'incompatibilité entre les systèmes utilisés représente l'obstacle le plus sérieux à une utilisation accrue des TI, ce qui nous ramène à la nécessité d'établir des standards.

Les apprentissages nécessaires à l'implantation des TI ralentissent dans un premier temps la performance du projet. Cet élément de risque est cependant largement contrebalancé par les bénéfices réalisés lorsqu'une entreprise réussit à maîtriser davantage les TI. L'envergure du projet est le principal facteur favorisant l'utilisation des TI. On note également que les diverses technologies ont tendance à se combiner.

C'est en suivant cette piste que le NIST et le Construction Industry Institute (CII), aux États-Unis, ont mis sur pied en 1999 le consortium Fiotech (*Fully Integrated and Automated TECHNOlogy*). Fiotech est un réseau d'entreprises qui souhaitent augmenter la performance des projets d'investissement (*capital projects*), de l'étape de conception et design jusqu'à la démolition ou au recyclage des constructions, en favorisant la circulation de l'information entre les différents acteurs durant toute la durée d'un projet. Cette approche est baptisée FIAPP (*Fully Integrated and Automated Project Processes*). Fiotech est un consortium œuvrant en recherche et développement, mais qui s'attaque également à l'implantation des technologies en mettant à la disposition de partenaires une équipe spécialisée en gestion de projet. Fiotech cherche à optimiser les dépenses en R-D en finançant des projets de recherche trop coûteux ou trop complexes pour une seule organisation, et en établissant des standards ou des interfaces. Le plan d'action de Fiotech comprend :

- l'évaluation des besoins de l'industrie ;
- le développement d'une vision commune ;
- l'élaboration d'une carte routière technologique ;
- la mise en œuvre de projets s'inscrivant dans la carte routière ;
- l'obtention de financement.

Les objectifs poursuivis par Fiotech sont :

- une réduction de 30 % à 40 % des coûts et des délais de livraison ;
- la réduction des modifications à la conception initiale (par le recours à l'ingénierie concourante et à la gestion de la chaîne logistique (*supply chain management*)) ;
- la détection et la correction des écarts entre la conception et la construction ;
- l'acquisition d'informations très précises sur le bâtiment qui vient d'être construit, pour son exploitation, sa gestion et ses rénovations ultérieures.

*Bénéfices financiers
et réduction
des délais*

*Fiotech,
un réseau
d'entreprises*

*L'intégration
des processus grâce
au TI: la clé de
l'industrialisation*

Les rapports issus du programme PATH vont dans la même direction pour le secteur résidentiel: la clé de l'industrialisation de la construction de maisons réside dans l'intégration des processus grâce aux TI¹⁸. Le secteur résidentiel est beaucoup moins informatisé que le non résidentiel. La stratégie proposée consiste à diviser le secteur en sous-secteurs, en fonction des capacités de production, et à moduler l'introduction des TI en conséquence. Ainsi, les petits constructeurs, parce qu'ils disposent de capacités financières limitées, ne peuvent pas promouvoir l'introduction des TI; ils laissent donc ce rôle aux fournisseurs de matériaux par exemple. Soulignons cependant leurs capacités d'adaptation dont témoigne l'adoption progressive d'éléments préfabriqués sur les chantiers traditionnels.

*Une salle de plan
virtuelle à la
disposition des
entrepreneurs
du Québec*

Comme on l'a mentionné, les temps d'apprentissage des TI tendent à ralentir la performance des projets de construction. Cela est particulièrement vrai pour de petites entreprises qui maîtrisent difficilement les nouvelles TI parfois complexes. Le rythme d'introduction des TI et leur contribution à des objectifs de rentabilité s'avèrent donc des éléments essentiels à une implantation réussie. L'Association de la construction du Québec (ACQ), avec son programme de salle de plans virtuelle, est un exemple d'une implantation graduelle de technologies complexes. Un entrepreneur qui désire déposer une soumission sur un projet de construction ou de rénovation voudra consulter au préalable les plans de l'édifice à construire ou à restaurer: il devait jusqu'à récemment se déplacer pour consulter les archives disponibles sur papier. Or, avec l'aide de la compagnie ArchiDATA, l'ACQ a mis sur pied une salle de plans virtuelle qui permet aux entrepreneurs de télécharger des dessins techniques sur leur poste de travail et d'économiser ainsi temps et argent. Cette procédure en apparence simple cache une infrastructure logistique, matérielle et logicielle complexe. Elle demande, par exemple, la numérisation de plans de grande dimension, leur stockage et leur diffusion sur le réseau Internet. De l'avis de l'ACQ, qui a pris en charge l'ensemble de l'opération au profit de ses membres, l'exercice s'avère un succès et prépare l'adoption ultérieure de procédures plus complexes, comme l'offre de soumissions en ligne, qui permettront d'intégrer davantage les processus de travail des entreprises. L'introduction progressive des TI permet aux entreprises d'apprécier rapidement les gains en productivité que celles-ci apportent. C'est donc une approche à privilégier.

Au Canada, le réseau de recherche ITAC¹⁹ (Information Technologies for AEC/FM in Canada) a pour objectif de développer la prochaine génération d'outils soutenant les processus de conception, de construction et de gestion immobilière. Ce réseau, auquel appartient le Centre du bâtiment de l'Université Concordia, collabore aux efforts internationaux de standardisation des données et de promotion des TI. Il est financé par le Conseil national de recherches Canada (CNRC). L'ITAC a formé un comité consultatif composé d'industriels pour assurer le transfert de la recherche vers les entreprises.

18. Michael O'Brien *et al.*, *Industrializing the Residential Construction Site*, U.S. Department of Housing and Urban Development, 2000.

19. Thomas Froese et Mahmoud Halfawy, « Leveraging information technologies », Paper A-22, Conference of the Canadian Society for Civil Engineers, 30 mai – 2 juin, 2001.

5.7 L'importance du design et de la conception

La puissance accrue des ordinateurs et le développement de logiciels spécialisés dans la représentation des différentes composantes d'un bâtiment permettent d'envisager le transfert au secteur du bâtiment de méthodes d'organisation de la production utilisées dans le secteur manufacturier, comme l'ingénierie concourante, la gestion de la chaîne logistique (*supply chain management*) ou les systèmes intégrés de gestion (*enterprise resources planning*). Plusieurs groupes de travail, partout dans le monde, se penchent actuellement sur les bénéfices que le secteur du bâtiment pourrait en tirer. Dans ce modèle, les frontières entre les processus de conception, de fabrication, de construction et d'exploitation des bâtiments tendent donc à s'estomper, au profit de l'étape de conception qui encapsule en quelque sorte dans des représentations numériques une partie des connaissances des étapes subséquentes de production. Cet environnement devient propice au développement de composants qui permettent une plus grande flexibilité du design, de la modélisation, de l'estimation des coûts des projets, voire de la fabrication et de l'assemblage. L'application pratique des principes de construction allégée (*lean construction*) s'en trouve donc facilitée²⁰. La conception devient une étape critique, qui redonne aux architectes et aux ingénieurs la prépondérance dans les projets de construction et dans l'introduction de solutions novatrices.

Les frontières s'estompent entre les diverses étapes du processus

5.8 La domotique

Dans le cadre de cet avis, la domotique est traitée comme une branche des technologies de l'information, plutôt que comme une discipline relevant de l'architecture ou de la construction. Aux yeux de l'architecte ou de l'entrepreneur en construction, la domotique s'insère dans le sous-système des services, aux côtés de la plomberie, de l'électricité, de l'alimentation en eau ou en gaz²¹. Les principaux développements en matière de domotique relèvent donc plutôt des technologies de l'information. Nous nous limiterons ici à un très bref survol de cette discipline, en gardant à l'esprit qu'elle mériterait en soi une attention particulière.

La domotique: des domiciles intelligents

On regroupe, sous l'appellation domotique, l'ensemble des technologies du bâtiment, de l'électronique, de l'informatique et des télécommunications qui servent à rendre les domiciles plus « intelligents » (*smart house*). La domotique vise donc à intégrer en un tout cohérent les systèmes responsables des fonctions de sécurité, de confort, de gestion d'énergie, de communications, de divertissement, d'éducation, etc., bref, toutes les fonctions présentes dans une maison.

Pour le secteur commercial et industriel, on préfère parfois le terme d'immotique ou en anglais « *intelligent building* » (bâtiment intelligent). Dans ce cas, l'immotique permet de créer un environnement qui maximise l'efficacité du travail de ses occupants, tout en limitant au minimum les ressources consacrées à l'exploitation du bâtiment.

20. Alan Day, *Digital Building*, Butterworth-Heinemann, 1997.

21. Voir Stephen Kendall, *The Entangled American House*, <<http://www.nbm.org/>>, pour un historique de l'introduction successive des différents composants et accessoires dans les maisons américaines.

L'Atlas industriel du Québec de 1992 consacrait à la domotique un chapitre distinct dans la grappe habitat-construction. On y lit que : « À terme, la domotique pourrait devenir un fleuron de la grappe habitat-construction. » Aujourd'hui, la domotique et l'immotique sont toujours des secteurs économiques en émergence, et le marché tarde à se développer, surtout dans le secteur résidentiel.

Une table ronde sur le bâtiment intelligent s'est tenue à Chicago, en janvier 1999, sous l'égide du Département américain de l'énergie, afin de dégager les tendances de l'industrie et de préparer la rédaction d'une carte routière technologique.

Parmi ses principaux résultats, la table ronde a relevé que plusieurs des fonctionnalités de la domotique viennent des technologies de l'information et que leur développement trop rapide s'est avéré un frein à l'utilisation efficace des technologies disponibles. Le principal défi de l'industrie réside donc dans l'amélioration des pratiques de construction et des processus de planification et de maintenance des bâtiments, bien plus que dans l'acquisition de nouvelles technologies. En effet, les technologies existent bel et bien, mais on ne les a pas utilisées dans les constructions neuves pour leur conférer des performances optimales.

*Des obstacles liés
davantage aux
pratiques et aux
personnes qu'aux
technologies*

On constate ainsi que la domotique n'a pas « inondé » le marché, du moins pas en Amérique du Nord. Les obstacles sont plus liés aux pratiques et aux personnes qu'aux technologies mêmes. Les manufacturiers sont incapables de démontrer les bénéfices de leurs systèmes. Les entrepreneurs ne savent pas toujours bien les installer (problèmes de formation de la main-d'œuvre). Les propriétaires n'en connaissent pas les avantages et ne cherchent pas à optimiser leur bâtiment. Les réticences de l'industrie de la construction vis-à-vis de l'innovation et la crainte du risque ralentissent le développement et l'adoption de nouveaux codes facilitant l'introduction de ces nouvelles technologies. C'est pourquoi ces dernières apparaissent souvent d'abord en Europe ou en Asie.

Ces constats peuvent être repris dans le contexte québécois. Ils caractérisent le secteur de l'immotique où, pourtant, les entreprises disposent généralement des marges de manœuvre suffisantes pour implanter de tels systèmes. Le marché de la domotique souffre des mêmes problèmes. Certains mettent en cause la capacité des fournisseurs à créer des systèmes ou des produits susceptibles de répondre aux besoins réels des marchés domestiques (l'image répandue du grille-pain « intelligent » accessible à distance appuie leur argument). Le marché est en quête de clients.

*Un potentiel pour le
maintien à domicile
des personnes en
perte d'autonomie
et pour certains
soins de santé*

Cependant, ce qui peut apparaître comme une panoplie de gadgets sans importance prend une nouvelle dimension quand on l'applique à l'environnement des personnes en perte d'autonomie. En effet, les systèmes domotiques peuvent aider au maintien à domicile et contribuer aux services de santé, surtout avec le vieillissement de la population que l'on connaît. Les Japonais semblent être en avance, particulièrement dans la réalisation de projets de démonstration destinés à évaluer le potentiel de la domotique pour certains soins de santé,

comme les diagnostics de routine, la transmission de données, l'évaluation des risques, le monitoring et l'amélioration de la sécurité dans les maisons. Le recours à un design exempt de barrières architecturales fait également partie de leurs projets. Le gouvernement encourage l'industrie dans cette voie²².

Le Québec dispose d'un certain nombre d'entreprises spécialisées dans le domaine de la domotique, dont Domosys, par exemple, qui exploite un système basé sur le courant alternatif. La fragmentation de l'industrie semble, ici encore, être une barrière : les petites entreprises proposent des systèmes isolés, faute de pouvoir offrir des systèmes intégrés. Notons que le ministère des Ressources naturelles (par l'Agence de l'efficacité énergétique), dans sa politique de l'énergie, cite la domotique comme un secteur de recherche à explorer pour conserver l'énergie.

Il est possible que les développements rapides des technologies de l'information (microprocesseurs, Internet, microcapteurs), de même que les exigences énergétiques liées au concept de développement durable, viennent donner un nouveau souffle à la domotique. Le marché est d'ailleurs très florissant en Asie, particulièrement en Chine.

*La fragmentation
de l'industrie,
une barrière*

5.9 Constats

- Les TI permettent d'intégrer les différentes étapes d'un projet de construction dans la mesure où elles favorisent des échanges plus fluides d'information entre les partenaires. Or, la complexité des tâches à accomplir et la grande fragmentation de l'industrie ont freiné l'introduction massive des TI dans le secteur du bâtiment, particulièrement dans le secteur résidentiel.
- Le développement de représentations numériques standardisées de composants et celui d'outils d'aide à la conception ramènent l'architecte et l'ingénieur au cœur des projets de construction. En particulier, les représentations IFC sont en train de s'imposer comme une norme internationale.
- Le Québec comble rapidement son retard grâce à une informatisation accélérée de ses entreprises. Des initiatives comme celle de la salle de plans virtuelle de l'ACQ démontrent qu'un soutien technique centralisé aux entreprises et une introduction graduelle des TI dans les processus de travail portent des fruits.
- Non seulement les TI sont présentes à l'étape de la conception, mais elles viennent aussi soutenir l'ensemble des processus de travail, sur le modèle du secteur manufacturier. Des réseaux de recherche importants se déploient, particulièrement dans les pays scandinaves et aux États-Unis notamment par l'intermédiaire de Fiatech.

22. David Gann et al., *Healthcare and Smart Housing Technologies*, Pavilion Publ., 2000.

6 Les systèmes de recherche en sciences du bâtiment dans quelques pays

6.1 Introduction

Au sortir de la Deuxième Guerre mondiale, les besoins en bâtiments et en infrastructures ont rapidement rendu nécessaires de nouvelles constructions. Les gouvernements nationaux, principaux clients du secteur de la construction, ont également été les principaux acteurs de la recherche, le plus souvent par l'intermédiaire de centres nationaux de recherche en construction. Depuis une vingtaine d'années, cependant, le retrait progressif de l'État a modifié le rôle de ces organisations. Celles-ci ont davantage orienté leurs travaux de façon à répondre aux besoins immédiats de l'industrie¹.

La nature de la recherche dans le secteur du bâtiment est donc en mutation, comme le souligne un ancien secrétaire général du CIB dans une analyse des tendances internationales qui s'y dessinent². Six grandes tendances susceptibles d'avoir un impact sur la gestion de la recherche et sur l'innovation sont tirées de cette analyse :

- Croissance des partenariats recherche-industrie
- Internationalisation de la compétition et de la collaboration
- Intégration des approches
- Collaboration électronique
- Introduction des technologies de l'information dans la construction
- Développement durable et construction

Les quatre premières tendances affectent la façon de mener les activités de recherche. Les deux dernières orientent le choix des sujets parmi lesquels figurent principalement ceux que nous avons examinés au chapitre 3.

La complexité inhérente au secteur de la construction se trouve encore accentuée par les pressions issues de la mondialisation des marchés et de la compétition croissante qui exigent une augmentation sensible de sa productivité. Un dispositif de soutien à l'innovation doit donc tenir compte de cette complexité.

Un peu d'histoire

Six grandes tendances affectant la recherche et l'innovation

1. Voir à ce sujet « The future of national building research organizations », *Building Research and Information*, 25(5) (1997).

2. Wim Bakens, « International trends in building and construction research », *Journal of Construction Engineering and Management* 123(2) (1997).

L'examen de l'organisation du secteur dans quelques pays peut nous éclairer sur la nature des dispositifs qui ont été mis en place en réponse à ces nouvelles conditions.

*Les grandes familles
de systèmes
d'innovation*

Nous avons déjà évoqué au chapitre 4 les facteurs culturels prédisposant au développement de systèmes d'innovation dans le secteur du bâtiment. S'appuyant sur une typologie des systèmes d'innovations et de production³, Manseau et Seaden, dans une revue des politiques nationales d'innovation en construction, distinguent quatre grandes familles de systèmes d'innovation dans le secteur du bâtiment⁴:

- 1) les systèmes axés sur le marché (États-Unis, Canada, Royaume-Uni, Australie), où l'allocation des ressources est optimisée par le système des appels d'offres et où le gouvernement agit comme un client comme les autres, donc en étant relativement conservateur dans ses achats. La responsabilité civile des participants constitue un frein à l'innovation;
- 2) les systèmes axés sur l'intervention du gouvernement (France, Allemagne, Pays-Bas, Italie). L'intervention de l'État comme acheteur est significative et tend à démontrer l'intérêt de nouvelles technologies ou à atteindre des cibles socioéconomiques;
- 3) le modèle scandinave, semblable au précédent, mais avec un accent mis sur la concertation industrie-État-syndicat dans la résolution de problèmes propres à l'industrie. L'innovation est soutenue par l'État en vue d'atteindre des cibles socioéconomiques et environnementales;
- 4) le modèle japonais, basé sur la présence de très grandes entreprises qui réinvestissent une partie de leurs profits dans la recherche et l'innovation, considérées en soi comme des objectifs nationaux.

C'est en se basant en partie sur cette typologie que nous avons choisi d'examiner sommairement les différents acteurs de la recherche en sciences du bâtiment et de la construction dans quelques pays. Nous examinerons également la nature et l'envergure de quelques projets récents ou en cours ainsi que les modes d'allocation des ressources afin de les comparer à la situation qui a cours au Québec.

6.2 Les États-Unis

*Un effort limité de
R-D aux États-Unis,
malgré la taille
de son marché
de construction*

Les États-Unis constituent le plus grand marché de construction au monde avec des dépenses de 651 milliards de dollars en 1998. La construction est d'ailleurs le secteur économique le plus important après celui de la santé. Toutefois, l'effort de R-D des entreprises reste très timide par comparaison avec celui des autres secteurs.

3. Bruno Amable *et al.*, *Les systèmes d'innovation à l'ère de la globalisation*, Économica, 1997.

4. *Innovation in Construction – An International Review of Public Policies*, André Manseau et George Seaden (dir.), Spon Press, 2001.

Le soutien gouvernemental à la recherche, de son côté, oscille entre le financement de projets stratégiques misant sur la coopération entre l'industrie, le gouvernement et les universités et un repli de l'État dans des secteurs bien définis qui laisse aux entreprises le soin de financer leurs besoins en R-D en fonction des conditions du marché. Ce balancement affecte le financement de plusieurs projets et laboratoires fédéraux. Cependant, l'ampleur et la diversité des ressources disponibles demeurent les principaux atouts du système de recherche et d'innovation aux États-Unis⁵.

Les organismes fédéraux

Le principal laboratoire de recherche fédéral dans le domaine du bâtiment est le Building and Fire Research Laboratory (BFRL). Son budget, en 2001, était de 31,1 millions de dollars US, ce qui est relativement modeste si l'on considère que son équivalent canadien, l'Institut de recherche en construction, à Ottawa, dispose d'un budget de 20 millions de dollars CA. Le BFRL compte sur un personnel de 150 personnes, dont 126 professionnels. L'organisme poursuit des tests de laboratoire pour fixer les normes de performance qui seront intégrées aux codes du bâtiment et mène des recherches dans quatre grands secteurs : 1) les méthodes de construction avancées, où il est à développer d'ici à 2002 un prototype basé sur l'approche FIAPP (voir section 5.6) en partenariat avec l'industrie ; 2) les matériaux de construction de haute performance, principalement le béton ; 3) l'amélioration de la performance des bâtiments, selon le concept de construction durable ; 4) la réduction des pertes dues aux incendies. Le BFRL a procédé à une restructuration de sa programmation vers le milieu des années 1990 de façon à maximiser l'impact de ses travaux. L'une des nouvelles stratégies adoptées vise à démontrer la viabilité des produits développés par le laboratoire, en établissant des liens avec un « champion » de l'industrie qui l'assistera dans la réalisation de projets de démonstration. Une initiative du BFRL qui retient particulièrement l'attention concerne sa volonté d'établir des liens avec différents membres de l'industrie, des universités et du gouvernement pour la réalisation des travaux du Computer-Integrated Construction Group (CICE). Ces travaux portent sur l'intégration de l'information générée par un projet de construction, l'automatisation du chantier de construction et le commerce électronique des informations techniques entre les fabricants de matériaux et les entrepreneurs. Ils serviront de base à l'évaluation des bénéfices économiques découlant de l'utilisation des protocoles STEP, encore très peu répandus aux États-Unis, en vue d'en favoriser l'adoption par l'industrie.

*Les laboratoires
de recherche
gouvernementaux*

Le Buildings Technology Center (BTC) est la principale infrastructure de recherche en efficacité énergétique appliquée au bâtiment. Relevant du Department of Energy (DOE), ce laboratoire compte près de 70 chercheurs et dispose d'un budget d'environ 27 millions de dollars US. Sa mission est de

5. Voir B. Bozeman et J.S. Dietz, « Research Policy Trends in the United States », dans P. Larédo et P. Mustar, *Research and Innovation Policies in the New Global Economy*, Edward Elgar, 2001.

concevoir, de développer et de déployer des systèmes d'efficacité énergétique en partenariat avec l'industrie. Ses projets de recherche actuels portent notamment sur l'intégration des systèmes de chauffage, de climatisation et d'approvisionnement d'énergie, sur les appareils de chauffage et de climatisation et sur l'enveloppe du bâtiment.

Le Construction Engineering Research Laboratory (CERL) est un laboratoire de recherche qui relève du Department of Defense (DOD). Créé en 1968, à la suite d'une analyse des besoins des militaires par la National Academy of Sciences, ce laboratoire vise à répondre aux besoins spécifiques de l'armée et à transférer les connaissances en technologies avancées de construction au sein des forces armées. Une caractéristique intéressante de ce centre est le lien qui l'unit, dès sa fondation, avec l'Université de l'Illinois, les deux institutions partageant des ressources humaines et matérielles⁶. Le CERL a ainsi accès à une centaine de personnes travaillant dans cette université. De plus, il participe avec une trentaine d'autres universités et centres de recherche à divers projets de recherche. Le transfert des résultats vers le civil fut d'ailleurs l'un des objectifs fixés lors de sa création. Différents mécanismes de transfert sont prévus. Le CERL est actif dans plusieurs domaines de recherche parmi lesquels on signalera le *Business Process Reinvention* et le *Facility Delivery Process Improvement*, qui portent sur la gestion des projets de construction. Il compte sur un personnel de 700 employés, dont 250 chercheurs et ingénieurs. Son budget était d'environ 80 millions de dollars US en 1995.

Les organismes consultatifs

Le Board on Infrastructure and the Constructed Environment (BICE) est un organisme consultatif du National Research Council (NRC) dont le mandat est de conseiller le gouvernement et l'industrie privée sur différentes questions relatives au secteur de la construction. Le BICE est un regroupement de 18 experts recrutés dans l'industrie, le gouvernement et l'université, nommés pour une durée de trois ans et représentant différents points de vue. Il constitue une autorité indépendante. L'organisme a, par exemple, mené des travaux d'évaluation du programme PATH.

Le Federal Facilities Council (FFC) est un autre organisme de la NRC. Il regroupe 23 organismes fédéraux et a pour mission d'identifier les technologies, procédés ou modes de gestions susceptibles d'améliorer la performance des édifices fédéraux. Ses travaux portent surtout sur le recours aux TI dans l'utilisation d'un bâtiment ainsi que sur les méthodes de gestion des bâtiments.

Le National Institute of Building Science (NIBS) a été mis sur pied par le Congrès pour favoriser la promotion d'une réglementation rationnelle, l'introduction de nouvelles technologies et la diffusion de l'information technique. Fondé en 1974, cet organisme situé à Washington a pour objectif d'assurer un lien entre le gouvernement et l'industrie. Son financement provient de fonds

6. « The Creation of CERL », <<http://www.cecer.army.mil/pao/>>.

publics et privés et il disposait d'un budget de l'ordre de 10 millions de dollars US en 2000. Dirigé par un conseil d'administration de 21 membres, cet organisme de consultation se veut l'autorité dans le domaine du bâtiment. Il chapeaute une dizaine de conseils sectoriels qui se penchent sur des problèmes particuliers comme la sismique, les TI, l'enveloppe du bâtiment, etc. Il dispose d'un personnel permanent d'une trentaine de personnes. Le NIBS du bâtiment publie annuellement un important recueil de documents qui comprend des guides sur les spécifications des agences fédérales, une réglementation, des manuels, etc., utilisés en conception de bâtiments. Parmi les autres travaux en cours, soulignons une initiative visant à standardiser le dessin de plans en format numérique de manière à faciliter les échanges de données. Ainsi les symboles, les conventions de dessin, l'utilisation des couches, les annotations font-elles l'objet d'une représentation commune. Dans le même ordre d'idées, l'International Alliance for Interoperability (IAI), dont nous avons déjà parlé au chapitre 5, est devenue un conseil sectoriel permanent de l'institut en 2002.

Les centres de recherche privés

Les États-Unis possèdent un important bassin de grandes entreprises en mesure de soutenir des organismes privés voués à la recherche et au transfert technologique. Le Construction Industry Institute (CII), dont on a parlé antérieurement, a pour mission d'améliorer l'efficacité des processus d'affaires en construction selon une approche globale. C'est un consortium formé d'utilisateurs (parmi lesquels de grandes entreprises comme Dupont, General Motors, Dofasco), d'organismes gouvernementaux (comme le NIST, le DOE) et d'entrepreneurs privés (dont Bechtel et Honeywell International).

En plus des activités de recherche, le CII mène un programme d'implantation de « pratiques exemplaires » auprès de ses membres et d'analyse comparative (*benchmarking*) pour en mesurer l'impact et établir des normes de performance. Il offre également des programmes de formation.

Cet institut a également mis sur pied un comité spécial, le Breakthrough Committee, dans le but d'identifier les technologies émergentes susceptibles de réduire les coûts et les délais des projets de construction. Il s'agit en quelque sorte d'un comité de veille qui s'intéresse également aux apports des autres secteurs industriels. La recherche de financement de projets innovateurs et à risque élevé et l'évaluation des résultats obtenus font également partie de la stratégie du comité.

C'est dans cette même optique que le CII a créé des consortiums sectoriels comme Fiotech (voir le chapitre 5) et Process Industry Practices (PIP), dont la mission consiste à optimiser les processus de construction en accord avec des objectifs de sécurité, de santé et de protection de l'environnement, de façon à atteindre un objectif général de réduction des coûts de l'ordre de 6 %.

*La Construction
Industry Institute*

*Plusieurs activités
complémentaires
à la recherche
au CII*

*Le Lean
Construction
Institute*

D'autres instituts privés poursuivent des objectifs beaucoup plus ciblés. Le Lean Construction Institute, dont nous avons déjà parlé au chapitre, 2 a été fondé en 1997 par Glenn Ballard et Greg Howell, tous deux issus du milieu industriel. Sa mission consiste à développer et transférer des innovations dans la gestion de projet, selon les principes de la construction allégée (lean construction). Cet organisme dispose d'un personnel modeste, une dizaine de personnes, et se finance à partir des cotisations des membres et des subventions de recherche. La recherche qu'on y mène gravite autour de trois axes :

- la théorie de la production ;
- le système de production « Lean » ;
- l'implantation de systèmes de production « Lean ».

Le Lean Construction Institute collabore, en particulier, avec le consortium Fiatech.

*Le Design Build
Institute of America*

Le Design Build Institute of America (DBIA) est un organisme sans but lucratif, fondé en 1993, dont la mission est la promotion du recours à la conception-construction (*design-build*) comme mode de gestion des projets de construction (voir le chapitre 2). À cette fin, il organise des sessions de formation et des conférences, soutient financièrement des études sur la conception-construction et diffuse de l'information. Le DBIA a également mis sur pied un programme de certification professionnelle à l'intention des praticiens qui ont développé une expertise en conception-construction. Il se finance à partir des cotisations de ses membres (environ mille) et un conseil d'administration de douze personnes élues en assure la direction. Il est également organisé en chapitres régionaux lui permettant une couverture nationale. Il propose de plus un programme propre aux étudiants qui lui permet de diffuser de l'information en milieu universitaire.

*Le NAHB, une
association
professionnelle
d'entrepreneurs
en construction
résidentielle*

Dans le secteur résidentiel, le NAHB Research Center est une filiale de la National Association of Home Builders (NAHB), une association professionnelle d'entrepreneurs en construction résidentielle comptant 200 000 membres répartis partout aux États-Unis. Cet organisme sans but lucratif, fondé en 1964, est situé près de Washington. Les activités du centre vont de la conception de maisons à l'examen de questions sociales comme le logement des aînés ou les politiques d'habitation, en passant par la construction de maisons dans un parc de résidences adjacent au centre : ces maisons sont vendues et font, par la suite, l'objet d'un suivi. Parmi les réalisations récentes du centre, on compte quatre maisons de ville, toutes construites avec des matériaux offrant une solution de remplacement au bois d'œuvre traditionnel. Le centre participe aux projets de démonstration subventionnés par le programme PATH. Il offre également des services d'essais et de certification de matériaux.

Le Civil Engineering Research Foundation (CERF), créé par l'American Society of Civil Engineers (ASCE), a pour mission de faciliter, de coordonner et d'intégrer la recherche appliquée et l'innovation dans le but de promouvoir le

développement d'infrastructures durables. À cette fin, il gère des programmes visant à accélérer l'adoption d'innovations dans les différentes branches du génie civil, dont le bâtiment. Plus particulièrement, le CERF a mis sur pied conjointement avec la National Science Foundation des programmes conçus pour favoriser le transfert de la recherche universitaire vers l'industrie. Le CERF combine les efforts entrepris par la NSF avec les besoins de l'industrie pour explorer des domaines de recherche d'intérêt commun. Les six domaines retenus sont :

- la rationalisation du processus de construction ;
- les technologies avancées de design ;
- la détection et l'évaluation des dommages environnementaux ;
- les techniques d'investigation du sous-sol ;
- les matériaux et les systèmes avancés ;
- le contrôle sismique.

L'ASCE est également responsable d'instituts sectoriels et d'organisations professionnelles, comme l'Architectural Engineering Institute (AIE), qui ont un intérêt particulier pour le bâtiment.

Les centres de recherche universitaires

Parmi les principaux laboratoires et groupes de recherche universitaires associés au secteur du bâtiment, on compte deux laboratoires qui relèvent du programme I/UCRC (Industry/University Research Center) mis sur pied par la NSF⁷. Le *Center for Build Environment* (CBE), créé en 1997, a pour mission d'améliorer la conception, l'exploitation et la qualité environnementale des bâtiments. Ce centre a été créé afin de combler le retard observé par rapport au Japon et à l'Europe en matière d'applications commerciales de la recherche en efficacité énergétique et en qualité de l'environnement des bâtiments. Il s'est doté d'un mode de fonctionnement original. Un comité consultatif de l'industrie rencontre les chercheurs deux fois l'an afin de discuter des résultats de recherche obtenus, du budget et des projets futurs. Un médiateur de la NSF assiste aux réunions pour s'assurer que les besoins des membres sont satisfaits par les chercheurs. Cette façon de faire semble donner de bons résultats et permet l'optimisation des retombées des activités de recherche. Deux programmes viennent soutenir la mission du centre : 1) l'élaboration d'outils de mesure de l'environnement intérieur des bâtiments au moyen d'entrevues avec les occupants. Leurs réponses sont mises en relation avec des mesures physiques en vue d'améliorer l'exploitation des bâtiments existants et le design des bâtiments futurs ; 2) la recherche de nouvelles technologies, plus économiques et susceptibles d'améliorer la qualité de l'environnement et la productivité des occupants. Le

Le CERF fait la promotion d'infrastructures durables

Deux laboratoires et groupes de recherche universitaires associés au bâtiment

7. Le programme I/UCRC soutient la création de centres de recherche fondamentale d'intérêt industriel. La NSF fournit un financement de démarrage et la majeure partie du financement est assurée par les cotisations de membres issus du milieu industriel ou gouvernemental. La NSF prévoit que les centres deviendront autonomes après une période de dix ans.

personnel du CBE se compose de huit chercheurs à temps plein, quinze étudiants diplômés et plusieurs collaborateurs appartenant à différentes disciplines. Ses membres ont accès à l'ensemble des résultats de recherche avant qu'ils soient rendus publics. Le CBE fait partie intégrante du Building Science Laboratory de l'Université de Berkeley, lequel comprend un vaste complexe de laboratoires financés en grande partie par le Department of Energy à des fins de recherche en efficacité énergétique.

Le deuxième laboratoire issu du programme I/UACR est le Center for Building Performance and Diagnostics (CBPD), créé en 1992, et affilié à l'école d'architecture de l'Université Carnegie Mellon. Ce centre poursuit des objectifs semblables à ceux du CBE. Le CBPD se distingue par la réalisation de projets de démonstration, le plus important étant le *Intelligent Workplace* inauguré en 1997. La construction de ce bâtiment cherchait à démontrer la viabilité économique de quatre objectifs: 1) l'amélioration de la satisfaction et du confort des occupants; 2) l'atteinte d'une grande flexibilité de l'organisation de l'espace; 3) l'adaptabilité technologique; 4) l'efficacité énergétique et environnementale. Pour répondre à ces exigences, on a eu recours à plusieurs concepts liés à l'industrialisation du bâtiment: les systèmes intérieurs sont du type « prêt-à-tourner » (« *plug and play* ») de façon à permettre un redéploiement des espaces intérieurs sur demande, en fonction des besoins organisationnels; la préfabrication de composants modulaires a été privilégiée de manière à réduire les travaux sur le chantier et la production de déchets; on a utilisé des modes de livraison en « juste-à-temps ». Les concepts d'indépendance des différents sous-systèmes issus de celui de l'« *open building* » permettent la mise à jour ou le déplacement des services. La façade du bâtiment utilise en outre des cellules photovoltaïques pour alimenter des ventilateurs.

Les autres centres universitaires

Parmi les autres centres universitaires importants, le Centre for Integrated Facility Engineering (CIFE) de l'Université de Stanford s'est donné pour mission d'être le chef de file mondial de la recherche en design virtuel appliqué à l'architecture et à la construction. Ses projets de recherche tournent autour de sept grands thèmes:

- la modélisation de produits et de procédés;
- la visualisation et le développement d'outils 4D;
- la collaboration au moyen d'Internet;
- la gestion de la chaîne logistique (supply chain management);
- l'exploitation du bâtiment;
- la gestion de la technologie;
- l'enseignement.

La liste des membres comprend de très grandes entreprises issues du milieu de la construction et du milieu des TI (Bechtel, Autodesk, Bentley, Walt Disney Imageering) ainsi que des entreprises japonaises, norvégiennes et hollandaises.

Le centre comprend une équipe interdisciplinaire d'une trentaine de chercheurs des facultés de génie civil, d'informatique, de management et de psychologie. Le financement est assuré par les cotisations des membres.

Le secteur résidentiel compte également sur des ressources universitaires importantes. Le National Consortium of Home Builders Research Center regroupe ainsi treize centres de recherche universitaire en habitation. Outre le NAHB Research Center, on y trouve le Virginia Centre for Housing Studies. Ce centre se situe parmi les plus importants aux États-Unis. Il héberge le Center for Integrated Systems in Housing (CISH), créé en 1998, dont l'objectif est de donner une vision systémique de la construction domiciliaire en substituant aux méthodes traditionnelles de construction une approche basée sur l'assemblage de composants dans un système intégré. Les partenariats avec l'industrie sont privilégiés.

Le rôle du gouvernement fédéral

On a vu que les États-Unis ont périodiquement mis sur pied des initiatives visant à moderniser le secteur de la construction, particulièrement dans le secteur résidentiel. La plus récente appartient au comité sur la technologie du National Science and Technology Council (NSTC), un organisme qui a pour but d'optimiser les dépenses fédérales en recherche. Un sous-comité sur le bâtiment et la construction (CB) a été créé en 1994 pour coordonner et orienter le travail de 14 agences fédérales en vue d'améliorer la compétitivité de l'industrie, la sécurité des travailleurs et la qualité de l'environnement par l'entremise d'un programme de recherche et développement. Des ateliers de travail rejoignant les différents segments de l'industrie (résidentiel, commercial et industriel, travaux publics) ont défini sept objectifs nationaux (tableau 6.1). Le calendrier de réalisation s'étend sur une période de dix ans.

*Une initiative
d'envergure*

Tableau 6.1

**Objectifs nationaux du secteur de la construction aux États-Unis
(National Construction Goals)**

1. Réduction de 50% du délai de livraison.
2. Réduction de 50% des coûts énergétiques.
3. Augmentation de 30% de la productivité et du confort.
4. Réduction de 50% de maladies ou blessures des occupants.
5. Réduction de 50% des déchets et de la pollution.
6. Augmentation de 50% de la durabilité et de la flexibilité.
7. Réduction de 50% des maladies et accidents des travailleurs.

La réalité de chaque secteur de l'industrie étant différente, le sous-comité a adapté ses méthodes, conservant toujours la formule de partenariat. Les projets les plus avancés sont :

- le PATH (Partnership for Advancing Technology in Housing), consacré au secteur de l'habitation et financé par le Department of Housing and Urban Development (HUB) ;
- le CONMAT – *Construction Materials* – dont l'objectif est de commercialiser le plus rapidement possible des matériaux et des systèmes innovants. C'est le Civil Engineering Research Foundation (CERF) qui en assure le secrétariat. Il regroupe des représentants des différentes filières de l'industrie des matériaux (acier, béton, bois...);
- le PAIR – Partnership for Advancing Infrastructure and Its Renewal –, voué à la réfection des infrastructures.

*Dépenses
en recherche
modestes*

Tous les secteurs de l'industrie n'ont pas encore fait l'objet d'un partenariat formel. Le secteur du bâtiment commercial et institutionnel, par exemple, n'en est qu'à l'étape de la consultation. D'autres sous-comités sectoriels de moindre envergure, dans la mécanique du bâtiment notamment, ont aussi été mis sur pied.

Toutes ces initiatives reposent sur un partenariat avec l'industrie. Hormis le PATH, il semble toutefois que le financement de ces comités par le Congrès reste problématique⁸. Le PAIR, en particulier, ne semble pas encore être reconnu comme une initiative vraiment nationale. Dans cette même optique, l'American Society of Civil Engineers a exprimé son inquiétude devant les prévisions de compressions budgétaires au NSTI pour l'année 2002. Le CONMAT, de son côté, dispose d'un budget d'environ 2 milliards de dollars US sur une période de dix ans, mais ces sommes proviennent de fonds fédéraux déjà alloués à la recherche sur les matériaux. Il semble qu'il y ait un manque de coordination entre les diverses agences participantes dans l'attribution de ressources financières finalement peu importantes⁹.

*La recherche propre
au design ou à
l'industrialisation
ne représente
qu'une infime part
des dépenses
fédérales en R-D*

Une étude de RAND pour le compte du National Science and Technology Council et du programme PATH donne une lecture des dépenses fédérales en R-D pour l'année 1999. Celles-ci ont atteint 545 millions de dollars US. Près de 36 % de ce montant était consacré au domaine de l'énergie et 24 % aux infrastructures de transport. Des 135 millions de dollars investis dans la recherche sur l'énergie, la plus grande partie, 90 millions, est allée à la recherche sur l'énergie photovoltaïque, alors que 58 millions étaient consacrés à l'efficacité énergétique. La recherche propre au design ou à l'industrialisation du processus de construction ne représente que 2 % du total. Trois agences ont contribué à hauteur de 75 % aux investissements totaux, la plus importante étant le Department of Energy avec des octrois de 209 millions, qui est suivi du Department of Transportation (140 millions) et du Department of Defense (59 millions).

8. Richard A. Belle, Harvey Bernstein et André Manseau, « The U.S. federal policy in support of innovation in the design and construction industry », dans A. Manseau et G. Seaden, *op. cit.*

9. Richard A. Belle *et al.*, *op. cit.*

Le secteur de l'habitation a reçu 236 millions de dollars, les deux tiers allant au secteur de l'énergie, tout comme la majeure partie des dépenses liées à l'industrialisation du processus de construction. Le programme PATH, en particulier, disposait d'une enveloppe de 10 millions de dollars, dont la moitié a été consacrée à l'amélioration du processus global de construction. Il est intéressant de noter que 3,7 millions de dollars ont été octroyés à la recherche sur l'amélioration des matériaux, dont 800 000 \$ pour les solutions de remplacement aux méthodes de construction traditionnelles en bois.

Une culture d'innovation à construire

Les États-Unis peuvent donc compter sur une infrastructure de R-D assez bien développée. Malgré cela, diverses agences, dans le cadre d'ateliers de travail périodiques sur le système d'innovation en construction, relèvent les mêmes problèmes récurrents de sous-financement de la recherche, de faible productivité du secteur et de faible participation des entreprises dans les activités de recherche. L'industrie est avant tout préoccupée par le présent et peu par le long terme, ce qui pourrait expliquer la pénurie de spécialistes en management de la construction. Deux douzaines de postes en management étaient vacants dans les universités américaines en 1999¹⁰. Comme dans la plupart des pays occidentaux l'industrie de la construction américaine est très fragmentée et manque de ressources pour conduire des activités de recherche et développement. L'industrie dépense environ 0,5 % de ses ventes en activités de R-D comparativement à une moyenne de 3,0 % pour les autres industries¹¹. Les marges de profit étant faibles, les risques liés à l'introduction de nouvelles technologies sont réduits au minimum. Comme au Canada, la sélection systématique du plus bas soumissionnaire, lors des appels d'offres, ainsi que l'importance accordée aux coûts initiaux de construction au détriment des coûts globaux évalués pour la durée de vie des bâtiments tendent à perpétuer un mode de fonctionnement qui constitue un frein à l'innovation.

On aura noté cependant que, depuis le milieu des années 1990, se sont développés, aux côtés d'institutions traditionnelles comme le BFRL ou le NAHB, une quantité d'instituts et de centres de recherche financés par l'industrie. La formule de partenariat avec les universités est fortement privilégiée de façon à bénéficier au maximum de l'expertise universitaire et des infrastructures de recherche disponibles. La part de financement de la recherche en provenance de l'industrie a plus que doublé au cours des dernières années, témoignant qu'elle se responsabilise et alloue des ressources de plus en plus significatives à l'exploration des nouvelles technologies. Fait intéressant, l'industrie se penche autant sur l'innovation organisationnelle et les TI qui viennent la soutenir que sur l'innovation technologique traditionnelle, comme le démontrent les travaux menés par le CII en particulier. Ce nouvel essor de la recherche privée en construction est pour l'instant largement l'affaire des très grandes entreprises.

Une vision à court terme et une industrie fragmentée comme obstacles à la croissance de la R-D

La part de financement en provenance de l'industrie est en croissance

10. « Looking Ahead », *Engineering News Record*, éditorial, 13 septembre 1999, p. 80.

11. Scott Hassell, Scott Florence et Emile Ettegui, *Summary of Federal Construction, Building, and Housing Related Research & Development in FY1999*, RAND, Science and Technology Policy Institute, 2001.

L'innovation tarde à se manifester aux États-Unis

Malgré l'importance économique du secteur de la construction et la mise en place d'un réseau de recherche pouvant compter sur la présence de l'industrie privée, l'innovation n'est pas encore une caractéristique du secteur du bâtiment aux États-Unis. Les dépenses fédérales en recherche publique ne sont pas en croissance, alors que la réglementation et les politiques d'achat du gouvernement fédéral sont encore perçues comme des barrières plutôt que comme des encouragements à l'innovation. Il est encore trop tôt pour porter un jugement sur l'efficacité des initiatives liées aux *National Construction Goals* ou sur l'influence que celles-ci ont pu avoir sur le développement récent de plusieurs centres de recherche privés. Si l'appui à ces initiatives est parfois déficient, le programme PATH, en revanche, bénéficie d'un financement soutenu de la part du Department of Housing and Urban Development. C'est ce qui lui a permis de se développer plus efficacement. De plus, ce projet s'adresse au secteur résidentiel, donc essentiellement à de petites et moyennes entreprises. Les liens qui ont été tissés entre les différents partenaires de l'industrie sont parmi les principales retombées positives de ce programme. La multiplication de ces liens dans les différents secteurs d'une industrie très cloisonnée demeure également le principal acquis de la création des différents instituts et centres de recherche depuis une dizaine d'années. L'ensemble des grandes tendances répertoriées dans les chapitres précédents sont fortement intégrées dans les travaux en cours. Elles sont de plus fortement appuyées par la réalisation de projets de démonstration auxquels participent les entreprises.

6.3 Le Royaume-Uni

Plusieurs initiatives au Royaume-Uni viseront à stimuler l'innovation

Le cas du Royaume-Uni s'avère intéressant, car le gouvernement a pris plusieurs initiatives au cours des dix dernières années en vue de stimuler l'innovation dans l'industrie de la construction. Le tableau 6.2 rapporte les principaux programmes gouvernementaux destinés à stimuler l'innovation et la recherche dans ce secteur.

À la lecture du tableau 6.2, on constate qu'au cours des dernières années le gouvernement britannique a orienté la plupart de ses efforts vers la recherche, le développement et la diffusion des meilleures pratiques (ou des pratiques dites avancées) auprès des entreprises en construction. Le deuxième changement majeur a été la privatisation du Building Research Institute en 1997. Enfin, la troisième intervention du gouvernement vise à modifier les politiques d'achat public dans le domaine de la construction, de façon à favoriser davantage l'innovation.

Tableau 6.2

Principaux programmes visant à stimuler la recherche et l'innovation dans la construction au Royaume-Uni, 1999-2000

Nom	Budget (M\$)	Objectifs	Moyens	Contribution à l'innovation
Engineering and Physical Sciences Research Council	27	Soutenir financièrement la recherche.	Subventionner à hauteur de 100% des équipes de chercheurs universitaires	Générer de nouvelles idées. Ce programme est orienté vers la technologie.
Engineering and Physical Sciences Research Council	8,5	Développer la recherche appliquée axée sur les besoins des entreprises.	Réaliser des programmes de recherche en collaboration avec les entreprises.	Générer de nouvelles idées et diffuser les pratiques avancées.
Partenaires de l'innovation	17,7	Développer la recherche appliquée orientée vers les besoins des entreprises.	Réaliser des programmes de recherche en collaboration avec les instituts de recherche et les entreprises.	Développer des pratiques à l'avant-garde.
Mouvement pour l'innovation	1,4	Reconnaître et diffuser les pratiques avancées.	Conduire des projets de démonstration.	Diffuser les pratiques avancées.
Entente de collaboration avec le Building Research Institute	24,3	Soutenir la recherche du BRE dans les années suivant sa privatisation	Fournir un financement qui va en diminuant au fil des ans.	Développer et valider les meilleures pratiques ainsi que des normes.
Programme des meilleures pratiques en construction	5,4	Reconnaître et diffuser les meilleures pratiques.	C'est une source qui fait autorité sur les meilleures pratiques.	Reconnaître et diffuser les meilleures pratiques.
Politique d'achat public		S'assurer que le gouvernement et ses agences sont des clients utilisant les meilleures pratiques.	Modifier les procédures d'appels d'offres, de gestion et d'acquisition d'immeubles, etc.	Créer un contexte favorable à l'innovation.

Source: Graham Winch, *Innovation in the British Construction Industry: The Role of Public Policy Instruments*, dans A. Manseau et G. Seaden, *op. cit.*

*Les universités
en partenariat avec
les entreprises*

La recherche universitaire

L'Engineering and Physical Sciences Research Council est le principal conseil subventionnaire auprès des universités. Ce sont près de 36 millions de dollars qui sont consacrés annuellement à la recherche universitaire dans le domaine de la construction, dont le tiers va à des programmes de recherche menés conjointement avec les entreprises. Dans ce dernier cas, les entreprises doivent les financer à hauteur de 50 %. Certains auteurs¹² ont souligné que la recherche universitaire sur la construction, en dépit du fait qu'elle était en progression au milieu des années 1990, montrait une faiblesse marquée par rapport aux autres domaines.

Le rôle du ministère de l'Environnement, du Transport et des Régions

L'industrie de la construction relève du ministère de l'Environnement, du Transport et des Régions (DETR). Celui-ci intervient au moyen de plusieurs programmes en vue de stimuler l'innovation dans l'industrie de la construction. Pour y parvenir, le DETR dépense annuellement près de 54 millions de dollars (tableau 6.3).

Tableau 6.3
Dépenses de recherche en construction du DETR

Programme	1999-2000 M \$
Partenaires en innovation (PII)	17,7
Ententes de financement du BRE (dont le Programme des meilleures pratiques en construction)	26,7 2,4
Programme des meilleures pratiques en construction : contrats externes	3,1
Mouvement pour l'innovation	1,4
Recherche commanditée directement	4,2
LINK	0,7
Total	53,6

Note: Les entreprises fournissent 55 % du financement des projets du programme PII, ce qui porte le total du financement à 39,5 millions de dollars. Dans le cas du LINK, le DETR finance 25 % du coût des projets, le EPSRC 25 % et les entreprises 50 %, ce qui porte le total du financement à 2,8 millions de dollars.

Source: G. Winch, *op. cit.*

12. Voir Ian Cooper, « The UK's changing research base for construction: The impact of recent government policy », *Building Research and Information*, 25(6) (1997).

Le programme Partenaires en innovation (PII), dont 55 % du financement provient des entreprises, est l'un des principaux moyens utilisés par le DETR pour stimuler la recherche et l'innovation dans la construction. Le PII vise à encourager les collaborations entre centres de recherche gouvernementaux, entreprises, universités et organismes de recherche privés. Les projets doivent franchir un processus en deux étapes pour être retenus. Ils doivent d'abord répondre aux priorités du DETR, puis avoir une forte probabilité d'être mis en application dans les entreprises de façon à augmenter leur performance.

Le Programme des meilleures pratiques en construction vise à modifier les anciennes pratiques de management en reconnaissant les meilleures pratiques et en facilitant leur adoption par les entreprises. Les moyens utilisés sont multiples et vont des conseils à la fourniture de techniques et d'outils pour y parvenir. Le programme cherche aussi à établir des liens entre les entreprises désireuses d'améliorer leurs pratiques d'organisation du travail.

La privatisation du Building Research Establishment (BRE)

Le Building Research Establishment (BRE) a été privatisé en 1997. Le DETR s'est engagé à lui fournir une partie de son financement au cours des cinq années suivantes. Le montant total alloué demeure confidentiel, mais il est dégressif et comprenait une réduction de l'ordre de 23 % durant la première année. De plus, le financement est lié à des commandes provenant du DETR, pour lesquelles le BRE doit démontrer qu'il possède la compétence voulue et qu'il peut effectuer les travaux à un coût acceptable. Dans le cas contraire, le DETR peut s'adresser à d'autres sources. Plusieurs observateurs se montrent très critiques et sont convaincus que la privatisation du BRE aura pour effet de diminuer l'effort de recherche en construction au Royaume-Uni¹³. Ils doutent que cet organisme puisse aller chercher du financement additionnel auprès des entreprises, étant donné la faible tradition de celles-ci en recherche. De plus, comme le BRE peut maintenant soumettre des projets au Engineering and Physical Sciences Research Council, il entrera en compétition avec les universités. Le retrait rapide du gouvernement de la recherche en construction risque donc d'avoir des conséquences négatives, particulièrement en ce qui regarde la recherche à moyen et à long terme, qui intéresse peu les entreprises. En fait, le Royaume-Uni est l'un des rares pays à avoir agi de la sorte, allant à contre-courant de la France, par exemple, qui a intensifié ses efforts en recherche au cours des dernières années.

*Retrait du
gouvernement de
la recherche
en construction*

Les suites au rapport *Rethinking Construction*

En juillet 1998, un comité de travail remettait au gouvernement un rapport intitulé *Rethinking Construction*. Ce rapport a eu une influence notable tant auprès du gouvernement que des entreprises: il a reçu l'appui public du premier ministre et deux ministres se sont par la suite engagés à mettre en œuvre les diverses

*La création d'un
mouvement pour
l'innovation*

13. Voir Ian Cooper, *op. cit.*, ainsi que Andrew Derbyshire, « Reflections on BRS, BRE and the future », dans *Building Research and Information*, 25(6) (1997).

recommandations du rapport. La retombée la plus importante fut sans conteste la création du Mouvement pour l'innovation¹⁴. Il s'agit d'un organisme constitué d'un secrétariat et d'un conseil d'administration regroupant de grandes entreprises du secteur de la construction ainsi que des représentants gouvernementaux. L'idée de base est d'inciter des entreprises ainsi que des ministères à réaliser des projets de démonstration de nouvelles technologies, de nouvelles pratiques quant à l'organisation du travail, etc. Ces projets sont suivis de près et les résultats sont mesurés à l'aide d'une série d'indicateurs. Le DETR procède à une enquête annuelle auprès d'un échantillon d'entreprises afin de mesurer les performances de l'ensemble des firmes en fonction des mêmes indicateurs, ce qui permet une comparaison entre les projets de démonstration et l'ensemble des projets de l'industrie.

*Promotion
de projets de
démonstration*

Ces projets de démonstration poursuivent plusieurs objectifs : diminuer de 10 % les coûts de construction, diminuer de 20 % les malfaçons et les accidents et améliorer la productivité et les profits de 10 %. Les trois grands moyens pour y parvenir sont de favoriser l'intégration des différentes équipes de travail, de viser la plus haute qualité possible et de miser sur les ressources humaines. Depuis la publication du rapport en 1998, plus de mille entreprises ont participé activement à cette initiative. Les résultats obtenus par les projets ayant recours aux nouvelles pratiques sont nettement supérieurs à ceux des projets traditionnels, comme en témoigne le tableau 6.4.

Devant le succès remporté par ces projets parrainés par le Mouvement pour l'innovation, le DETR a renouvelé son financement jusqu'en 2004. En plus de fournir un apport financier, le gouvernement est intervenu directement de plusieurs façons. La première fut de participer à des projets de démonstration, en particulier dans le logement social. La seconde fut de modifier ses politiques d'achat en construction. Ainsi, le gouvernement exige que les principes d'achat du rapport *Rethinking Construction* soient appliqués tant par le gouvernement central que par les gouvernements locaux. Un réseau de dix coordonnateurs régionaux a été mis sur pied afin de diriger les projets de démonstration et de travailler avec les administrations locales dans le but de diffuser le plus largement possible la philosophie propre aux projets de démonstration. Comme le secteur public au Royaume-Uni représente 40 % des commandes en construction, le gouvernement dispose d'un puissant levier pour diffuser les nouvelles façons de faire. Le ministère du Commerce a produit plusieurs documents afin de s'assurer que les administrations publiques participantes appliquent la nouvelle philosophie dans les règles de l'art sans entrer en conflit avec les règles existantes relatives aux achats publics, en particulier en ce qui concerne la concurrence. Le gouvernement exige désormais que tous ses contrats aient recours à des méthodes d'intégration des équipes, que ce soit dans le cadre du dispositif *Design-Build* du programme *Private Finance Initiative* (une forme de BOOT – construction, possession, exploitation, transfert) ou du *Prime Contracting*.

14. Voir <<http://www.m4i.org.uk>> pour avoir accès à différents documents sur cette association.

Tableau 6.4
Performance des projets de démonstration au Royaume-Uni, 2001

Indicateur de performance	Mesure	Ensemble du secteur (%)	Projets de démonstration (%)
Satisfaction du client-produit	Performance de 8/10 ou mieux	73	85
Satisfaction du client-service	Performance de 8/10 ou mieux	65	80
Défectuosités	Performance de 8/10 ou mieux	58	86
Sécurité	Nombre moyen d'accidents par 100 000 employés	990	495
Fiabilité du coût-conception	Cible atteinte ou dépassée	63	81
Fiabilité du coût-construction	Cible atteinte ou dépassée	50	71
Fiabilité de l'échéancier-conception	Cible atteinte ou dépassée	46	81
Fiabilité de l'échéancier-construction	Cible atteinte ou dépassée	61	70
Profitabilité	Profit médian	5,6	7,6
Productivité	Valeur ajoutée médiane par employé (000£)	28	34
Coût	Changement par rapport à l'année précédente	+ 2	-2
Temps	Changement par rapport à l'année précédente	+ 4	-8

Source : *Strategic Forum, Accelerating Change*, <<http://www.m4i.org.uk>>.

L'objectif au cours des années à venir est de porter de 10 % en 2001 à 20 % en 2004 et à 50 % en 2007 les projets de construction faisant appel à des équipes intégrées. Pour y arriver, il sera nécessaire de rejoindre de plus en plus de PME. Une stratégie en ce sens est en voie d'élaboration.

Le Mouvement pour l'innovation porte une attention particulière à la main-d'œuvre. En effet, l'industrie de la construction souffre d'une mauvaise image auprès des jeunes, puisqu'elle est perçue comme une industrie sale, dangereuse

On souhaite intéresser les jeunes

et qui recrute du personnel peu qualifié. Il en découle que de moins en moins de jeunes s'y intéressent et donc que la main-d'œuvre est vieillissante. Les objectifs sont à cet égard d'augmenter la sécurité sur les chantiers, de former davantage la main-d'œuvre et d'améliorer les conditions de travail : hausse des salaires, diminution des heures supplémentaires, etc.

Les politiques d'achat public

*Les politiques
d'achat public
repensées*

Le Conseil du trésor a élaboré au début des années 2000 une nouvelle politique relative aux achats publics en construction. Les principaux changements poursuivis sont de :

- passer de la règle du plus bas soumissionnaire à une moyenne pondérée de la valeur et du coût dans l'évaluation des offres ;
- passer d'un appel d'offres traditionnel à l'utilisation de la négociation, comprenant le partenariat lorsque cela est approprié, pour obtenir le meilleur rapport qualité-prix ;
- passer de l'optimisation partielle (plus bas soumissionnaire) à l'optimisation totale du projet (cycle de vie de l'édifice) ;
- mieux partager le risque : lors de l'acquisition d'actifs physiques, transférer le risque vers le secteur public et le transférer vers le secteur privé lors de l'acquisition de services ;
- utiliser des méthodes non traditionnelles : *Construction Management, Design-Build, Design-Build-Operate-Transfer* ;
- passer à des spécifications basées sur la performance et la fonctionnalité plutôt que sur l'utilisation de matériaux et composants précis.

En somme, le gouvernement britannique cherche à effectuer des changements substantiels dans ses politiques d'achat.

6.4 La France¹⁵

*Le gouvernement
français fortement
impliqué*

Le gouvernement français a joué un rôle déterminant pour l'industrie de la construction au cours des cinquante dernières années tant par le volume des contrats accordés que par l'aide financière (fiscale et autre), la réglementation et ses activités de recherche. C'est ainsi qu'en 1997 les dépenses publiques en construction ont représenté près de 39 % du total des dépenses, ce qui est de loin supérieur à ce qu'on observe au Canada et au Québec. La demande gouvernementale se répartit en parts égales entre les travaux d'ingénierie civile et les bâtiments ; dans ce dernier cas la demande publique représente plus de 25 % du total. Tout comme c'est le cas pour les autres pays, le secteur est très fragmenté. Cependant, il est plus concentré qu'au Canada et au Québec, puisque

15. Pour une présentation globale sur le sujet voir Élisabeth Campagnac et Jean-Luc Salagnac, « Innovation in the French construction industry: The role of public policy instruments », dans A. Manseau et G. Seaden, *op. cit.*

les entreprises de plus de 200 employés ont réalisé 37 % de la valeur des travaux, alors qu'au Québec elles ont versé moins de 3 % du total des salaires en 1999. C'est donc dire qu'il y a plusieurs moyennes et grandes entreprises de construction en France et qu'elles accaparent une part importante du marché national. On a vu au premier chapitre que certaines de ces entreprises sont parmi les plus importantes au monde et qu'elles obtiennent une proportion significative des contrats internationaux accordés à des firmes étrangères.

*Plusieurs moyennes
et grandes
entreprises
de construction
en France*

Comme en témoigne le tableau 6.5, les ressources que le gouvernement consacre à la recherche et aux encouragements à l'innovation dans l'industrie de la construction sont assez impressionnantes.

Le gouvernement français stimule indirectement l'innovation au moyen de la Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques. Celle-ci réunit les principaux intervenants du secteur de la construction dans le cadre des travaux publics afin d'obtenir leur point de vue sur les procédures d'appel d'offres public. Cela permet notamment de s'assurer que les procédures favorisent la qualité.

Le Centre scientifique et technique sur le bâtiment

Créé en 1947, le Centre scientifique et technique sur le bâtiment (CSTB) relève du ministère du Logement. Son budget total actuel est de 85 millions de dollars, dont 32 % sont alloués à la recherche, 22 % à la consultation, 36 % à des activités technologiques et 9 % à la diffusion du savoir. Le CSTB a vu ses effectifs croître au cours des dernières années, puisqu'il emploie maintenant 720 personnes, dont 350 ingénieurs et chercheurs, comparativement à 564 personnes en 1997. Le personnel est réparti entre le siège social qui comprend outre l'administration centrale, la recherche économique et sociale, et quatre laboratoires disséminés sur l'ensemble du territoire.

*La recherche
au CSTB touche
des thèmes majeurs*

La programmation de recherche est établie avec le concours d'un comité consultatif présidé par un conseiller du directeur général du CNRS. Les activités du CSTB sont regroupées autour de quatre thèmes majeurs : les enjeux de société (développement durable, sécurité, économie et sciences humaines), les ouvrages et le confort (acoustique et éclairage, climatologie, aérodynamique, pollution et épuration), les produits et techniques de construction (enveloppe et revêtement, hydraulique et équipements sanitaires) et les industries de l'information (TI et diffusion du savoir). Dans le domaine de la santé, de l'environnement et de la prévention des risques, le CSTB vise à maîtriser les impacts environnementaux des matériaux de construction et des bâtiments eux-mêmes ainsi que la consommation énergétique, la prévention des risques pour la santé et la sécurité des occupants du bâtiment. Par exemple, sur le plan de la sécurité, le comportement sismique des bâtiments, leur résistance au vent et leur sécurité par rapport au feu sont évalués par différents moyens. Sur la question du confort des ambiances, le CSTB a conçu plusieurs logiciels permettant de simuler les effets

Tableau 6.5
Aide publique à la recherche et à l'innovation en construction en France, 1999

Nom	Ressources	Objectifs de la recherche	Moyens
Centre scientifique et technique sur le bâtiment	Budget total de 77 millions de dollars, dont 24 en recherche	Promouvoir le développement de produits et de méthodes innovateurs pour le bâtiment.	Budget annuel fourni par le ministère de la Construction.
Laboratoire central des ponts et chaussées	68 millions en recherche	Promouvoir le développement de produits et de méthodes innovateurs pour le génie civil.	Budget annuel fourni par le ministère de la Construction.
Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie	5 millions + 11 M\$ consacrés aux énergies non renouvelables + 46 M\$ pour la diffusion de l'information.	Promouvoir le développement de technologies compatibles avec l'environnement pour les bâtiments.	Recherches et études prospectives. Conseils. Diffusion d'information pour influencer le comportement des différents acteurs.
Plan urbanisme, construction et architecture	16 millions.	Stimuler l'innovation dans le secteur du bâtiment (urbanisme, architecture, technologies et organisation en construction).	Une équipe permanente de 40 personnes s'occupe du démarrage des programmes, du choix des projets, de la mise en réseau des acteurs et de l'évaluation des programmes.
Centres techniques et industriels (produits du béton, de la brique, des tuiles, bois, etc.).	Le financement est assuré par une partie des recettes provenant de la TVA perçue sur la vente des matériaux de chaque filière.	Résoudre les problèmes des entreprises affiliées aux centres. Développer des méthodes de production innovantes.	Chaque branche industrielle dispose de son propre centre.

Source : É. Campagnac et J.-L. Salagnac, *op. cit.*

de l'utilisation de divers matériaux dans différents bâtiments. Par exemple, le CSTB peut aider à la conception acoustique d'une salle de concert, suggérer le choix de différents matériaux et prodiguer des conseils quant à la conception même de l'édifice. Il en est de même pour la ventilation, la qualité de l'air ou l'éclairage des bâtiments. Sur le plan de la structure et de l'enveloppe du bâtiment, le CSTB peut évaluer les performances thermiques d'éléments de l'enveloppe, les mouvements d'humidité et les risques de condensation, l'efficacité des dispositifs de protection solaire ; il peut aider au choix de rénovations des façades du point de vue de la chaleur, de la ventilation, de la protection contre le bruit ; il peut diagnostiquer des causes de pathologies majeures et rechercher des mesures correctives, etc. Le CSTB caractérise les performances fonctionnelles des matériaux, aide au développement de matériaux et composites à performances fonctionnelles prédéfinies et évalue les possibilités de transfert technologique.

Le CSTB est un spécialiste de l'évaluation de la qualité des produits et procédés innovants. C'est ainsi qu'il gère un portefeuille de 5 000 avis techniques en cours de validation ainsi que 1 500 certifications. Il peut délivrer les Agréments techniques européens.

*Évaluation
de la qualité
des produits*

Le CSTB est très actif sur le plan des TI. Il contribue activement au développement de logiciels de simulation des propriétés du bâtiment, à la structuration de bases de données, à la modélisation, au partage et à l'échange de données, au développement de plates-formes logicielles pour l'intercommunication entre formats graphiques différents, etc.

Enfin, le CSTB intervient sur le plan de la recherche en urbanisme. C'est ainsi qu'il effectue des études en vue de soutenir la réhabilitation d'habitations sociales ou la requalification de quartiers, qu'il aide les gestionnaires des habitations sociales à élaborer de nouvelles politiques, qu'il analyse les dynamiques résidentielles, qu'il évalue les politiques publiques relatives à l'habitation et au patrimoine, etc.

*Recherche en
urbanisme*

Le CSTB collabore aux recherches des entreprises. Il transmet tout projet reçu à un comité chargé d'en examiner la recevabilité selon des critères de cofinancement et de partage de la propriété intellectuelle. L'entreprise doit obligatoirement en financer une partie. Le taux de participation est fonction de la taille de l'entreprise. Il est au maximum de 50 % pour une PME et peut aller jusqu'à 75 % pour une grande entreprise.

Le CSTB offre également un service de consultation : lors d'une entrevue, un spécialiste du Centre émet un avis, établit un diagnostic ou donne un conseil en fonction du problème à régler. Ces consultations s'adressent aux entrepreneurs, aux architectes, aux bureaux d'études, etc.

Le CSTB est très actif sur le plan de la diffusion des informations et, à cette fin, il recourt à une panoplie de moyens : rencontres, séminaires, documents en ligne, dépliants, rapports, cédéroms, etc. Par exemple, récemment, le CSTB a lancé les Rencontres de l'innovation pendant lesquelles des entreprises de divers milieux (matériaux, architectes, etc.) viennent faire état de leurs projets de recherche et de leurs innovations.

Enfin, le CSTB est résolument présent dans les réseaux de recherche européens: ENBRI (European Network of Building Research Institutes), ECCREDI (European Council for Construction, Development and Innovation), qui rassemble les architectes, entreprises, industriels, chercheurs et consultants, ainsi que le réseau ENCORD qui regroupe les grandes entreprises européennes du secteur de la construction.

Plan Urbanisme, Construction et Architecture

*Le Plan
Construction mène
des projets de
recherche et
d'expérimentation
dont une partie
intègre des
innovations*

Le Plan Construction fut créé en 1971¹⁶. Il est par la suite devenu le Plan Construction et Architecture, puis très récemment le Plan Urbanisme, Construction et Architecture.

À l'origine, le Plan Construction relevait à la fois du ministère de la Recherche et du ministère du Logement. Il relève maintenant du ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement. Un comité d'orientation composé de clients du secteur public, d'architectes, d'experts scientifiques, de représentants des entrepreneurs généraux définit les grandes orientations et les priorités de recherche. C'est un secrétariat permanent assisté d'un conseil scientifique qui assure la bonne marche du Plan. Le secrétariat prépare et diffuse les appels d'offres pour les projets de recherche ou d'expérimentation, coordonne le budget, s'assure de la réalisation des projets retenus et diffuse les résultats de ces projets. Les recherches et les projets expérimentaux sont effectués par des équipes du CNRS, des universités ou des écoles d'ingénieurs, par des chercheurs indépendants, des entrepreneurs généraux, des bureaux d'études ou des collectivités locales.

Une partie de l'enveloppe destinée à l'habitation sociale sert à financer des projets expérimentaux qui intègrent des innovations. Dans ce cas, il n'y a pas d'appel d'offres, mais un prix négocié entre l'entrepreneur et le ministère; l'entrepreneur est présent dès le départ, durant la phase de conception du projet. Au fil des années, les priorités de recherche ont évolué. On peut distinguer trois phases. À la première, durant les années 1970, l'accent fut mis sur le développement de nouveaux matériaux standardisés ainsi que des manières de favoriser la préfabrication. La crise du pétrole en 1973 a stimulé la recherche en efficacité énergétique. Cette période a également permis, par son programme Architecture nouvelle, de favoriser l'émergence d'une nouvelle génération d'architectes dont quelques-uns parmi les plus connus actuellement en France. Les années 1980 furent axées sur les habitats économes en énergie, sur les méthodes visant à réduire les coûts de construction (recours aux TI, nouvelle organisation du travail sur les chantiers) ainsi que sur les façons d'améliorer les conditions de travail en vue d'attirer davantage de jeunes et ainsi réduire le roulement de la main-d'œuvre. Les années 1990 ont marqué un tournant vers des

16. Voir Élisabeth Campagnac, « National system of innovation in France: Plan Construction et Architecture », *Building Research and Information*, 26(5) (1998), p. 297-301.

projets européens d'expérimentation ainsi que vers une compréhension des différents modes de fonctionnement de l'industrie de la construction dans les divers pays européens. L'accent fut également mis sur les moyens d'améliorer la communication entre les différents partenaires des projets de construction en vue d'augmenter leur qualité et l'efficacité. C'est ainsi que des projets sur la logistique sont allés de l'avant.

L'évaluation qu'on a faite de ce plan est très positive, puisque celui-ci a atteint, semble-t-il, la plupart des objectifs qu'il s'était fixés au fil des ans. Il a notamment permis de stimuler la recherche dans l'industrie de la construction à un niveau supérieur à celui de la plupart des autres pays européens. Depuis quelques années, il a également réussi à structurer un réseau de chercheurs européens autour de problématiques de recherche communes. Le second effet extrêmement positif du Plan fut de réunir des chercheurs et des professionnels du bâtiment, une pratique auparavant plutôt inhabituelle. Les expérimentations ont notamment permis de fournir un terrain d'observation aux chercheurs et de tisser des liens entre les gens des entreprises, ceux de la recherche et les universitaires. Le Plan a également facilité le démarrage de la carrière de nombreux jeunes architectes. Une des faiblesses du Plan semble être le fait que ce sont uniquement les grands entrepreneurs généraux qui ont réalisé les projets.

*Le plan atteint
ses objectifs*

6.5 La Suède

Nous avons déjà évoqué, au chapitre 4, le rôle prépondérant joué par l'État dans le développement de l'industrie suédoise de la construction. Cependant, au cours des dernières années, la Suède a revu son mode de financement des institutions de recherche au profit d'un financement mixte avec l'industrie privée et de la promotion de partenariats entre les différents instituts et les entreprises¹⁷. L'industrie de la construction a connu un important recul durant les années 1990, régressant même de 25 % en 1994. L'arrêt des subventions à l'habitation est la principale raison de ce déclin, les mises en chantier passant en peu de temps de 70 000 par année en 1990 à 12 000 en 1993. La construction commerciale et industrielle dans la même période chutait également presque de moitié¹⁸.

*Le rôle
prépondérant du
gouvernement
suédois en mutation*

Le SP Building, une division du Swedish National Testing and Research Institute, est le principal centre de recherche en science du bâtiment en Suède avec un budget de 68 millions de dollars¹⁹ (400 millions de SEK) et une équipe de 500 personnes. Il offre des services de certification de matériaux et de certification environnementale suivant les normes ISO 9000 et 14001. Le centre a en outre mis en œuvre un programme de certification adapté au secteur des maisons préfabriquées, le P-Mark. Ce programme couvre le contrôle de la qualité du produit et le processus de fabrication. Le producteur doit se doter d'un système d'assurance qualité de sa production et l'institut procède à un contrôle

*Le Swedish
National Testing
and Research
Institute*

17. Paul Fazio et Louis Poliquin, *Prefabricated Housing in Sweden and Finland*, Forintek et Université Concordia, 2000.

18. *Construction Industry Swedish Institute*, Fact Sheet 130 A, 2001.

19. Taux de change utilisé 0,17\$/SEK.

aléatoire de 5 % des maisons préfabriquées²⁰. La recherche menée à l'institut gravite autour de cinq grands thèmes : les technologies de construction, les incendies, l'efficacité énergétique, la chimie des matériaux et l'acoustique du bâtiment. Tous les projets de recherche mettent l'accent sur le développement durable, le cycle de vie des produits et l'écologie industrielle. On remarque une forte participation à des projets de recherche internationaux, surtout par l'intermédiaire de programmes européens.

Le FORMAS

Le Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning (FORMAS) a remplacé, depuis 2001, le Swedish Building Research Council (BFR)²¹. Le FORMAS relève de plusieurs ministères et finance des projets de recherche liés au développement durable. Il est actif dans un grand nombre de secteurs, qui vont de l'agriculture à l'efficacité énergétique et au développement urbain. Deux créneaux de recherche retiennent l'attention : le bâtiment sain et les technologies de l'information dans le secteur du bâtiment. L'initiative « bâtiment sain » a pour objectif d'identifier les causes des problèmes de qualité de l'environnement intérieur et la réduction des risques causés par la conception, la construction et l'exploitation des bâtiments. Ce programme s'inscrit dans une initiative internationale (*Damp Buildings and Health*). Il dispose d'une enveloppe directe de 4 millions de dollars (24 millions de SEK) qui doit être doublée par l'apport d'un cofinancement. Plus de 30 projets de recherche sont en cours. La deuxième initiative a pour but de rationaliser l'échange d'information à travers toutes les étapes du processus de construction. Ce programme quinquennal reçoit 4,25 millions de dollars (25 millions de SEK) par année.

Le SSF

D'autres agences sont également actives dans le financement de projets de recherche au profit de l'industrie de la construction et du secteur du bâtiment. Le Swedish Foundation for Strategic Research (SSF) a pour mandat de développer une recherche de calibre international dans le but d'améliorer la compétitivité de la Suède à long terme. C'est dans cet esprit qu'il finance le programme *Competitive Building*, dont les objectifs sont :

- de créer des bâtiments avec un environnement intérieur sain ;
- de réaliser les objectifs du développement durable en adoptant une approche globale ;
- d'améliorer la qualité architecturale afin d'atteindre l'excellence dans le bâtiment ;
- d'accroître la productivité et l'industrialisation ;

20. Paul Fazio et Louis Poliquin, *op. cit.*

21. Le BFR était l'une des principales institutions suédoises de recherche en sciences du bâtiment. À la suite des grands débats entourant le financement de la recherche au milieu des années 1990, on a même envisagé son abolition. Voir à ce sujet Ulf Sandstrom, « Under political scrutiny – Swedish building and construction research », *Building Research and Information*, 26(4) (1998), p. 246-252.

- de s'adapter à un processus de construction orienté client ;
- de faire du développement technologique dans une perspective internationale et européenne.

Deux grands volets chapeautent les différents projets de recherche issus de ce programme. Le premier porte sur l'industrialisation du bâtiment, notamment la personnalisation de la conception, l'intégration de la conception avec la production et les méthodes de production industrialisées. Le deuxième volet couvre l'exploitation des bâtiments, les communications et l'enseignement. Ce programme dispose d'une enveloppe de 12 millions de dollars (70 millions de SEK) sur une période de cinq ans (1998-2003)²².

Une autre agence, la Swedish Foundation for Strategic Environmental Research, (MISTRA), doit remplir un mandat analogue à celui de la SSF dans le secteur de l'environnement. Le programme *Sustainable Building* a pour objectif de développer un savoir-faire dans l'application du concept de développement durable à toutes les phases du processus de construction. Le programme comprend trois volets : le bâtiment considéré comme un système ; l'adaptation écologique des matériaux et des composants ; l'implantation du concept de bâtiment durable. Le financement du projet s'élève à 6,6 millions de dollars (39 millions de SEK) sur une période de six ans (1996-2002).

Le MISTRA

Le Development Fund of the Swedish Construction Industry (SBUF) est un fonds paritaire créé en 1983 par les entreprises et les syndicats de travailleurs du secteur de la construction dans l'objectif de soutenir la recherche. Son budget annuel est d'environ 8,5 millions de dollars (50 millions de SEK). Le financement du SBUF est assuré par les cotisations des entreprises. Les projets de recherche sont d'abord évalués par un comité avant d'être avalisés par le conseil d'administration. Les résultats d'une soixantaine de projets sont diffusés annuellement auprès des membres. Les projets sont cofinancés par les organismes gouvernementaux déjà cités et se font généralement en étroite collaboration avec les universités. Le SBUF participe notamment au financement des principaux programmes décrits plus haut.

Le SBUF

Le Swedish Institute of Steel Construction (SBI) est un organisme de recherche autonome financé par environ 80 membres de l'industrie concernée. Il compte sur une équipe de huit chercheurs. Un des créneaux de recherche qui distinguent cet organisme est l'utilisation de l'acier dans le secteur résidentiel. Le programme *Light Steel Framing* (LSF) a pour but non seulement de favoriser l'utilisation de l'acier, mais aussi de mettre au point des solutions économiques dans l'ensemble du système de construction. L'objectif est de réduire de 30 % le coût actuel d'une maison à structure d'acier. Le SBI a d'ailleurs mené une enquête exploratoire en 1997 sur la production de maisons d'acier en Amérique du Nord.

Le SBI

22. « Competitive Building », *Annual Report*, 2001.

Les grandes entreprises et les universités

L'industrie de la construction suédoise compte également sur de très grandes entreprises²³. La multinationale Skanska est l'une des plus grandes entreprises de construction au monde. Skanska Teknik, sa division du soutien technique, avec ses 220 employés, est responsable de la planification de la R-D. Le groupe NCC a comme priorité, en matière de R-D, l'efficacité énergétique, les technologies de l'information et l'efficacité de la construction.

Parmi les principaux centres de recherche universitaire, signalons le Center for Built Environment de l'Université de Gale, spécialisé en qualité de l'environnement du bâtiment, et l'Institute for Housing Research de l'Université d'Uppsala.

6.6 La Finlande

Le VTT, le centre de recherche technique de Finlande

Le cœur du dispositif de recherche et développement en Finlande, tous secteurs confondus, est le VTT, le centre de recherche technique de Finlande. Cet important organisme public de recherche emploie plus de 3 000 personnes et dispose d'un budget de 310 millions de dollars (200 millions d'euros)²⁴. La Division du bâtiment et du transport du VTT comptait en 2002 sur un personnel de 540 personnes et un budget de 62 millions de dollars (40 millions d'euros)²⁵. Depuis quelques années, cependant, les budgets publics de R-D sont à la baisse et le centre doit augmenter la participation des entreprises par le moyen de contrats.

La division du bâtiment est structurée en cinq unités administratives : processus d'affaires ; produits et matériaux ; structures et services ; transport et logistique ; services de laboratoire (essais, assurance qualité et certification). Deux groupes de recherche axés sur les technologies de pointe et adoptant une approche globale retiennent l'attention : un premier groupe se consacre aux processus d'affaires et aux technologies de l'information venant les soutenir ; le deuxième est axé sur les produits du bois, et en particulier sur les produits de construction manufacturés. L'institution s'est également dotée d'une politique de construction durable. Comme en Suède, il est remarquable de constater le nombre de liens internationaux qui unissent les chercheurs du VTT à d'autres organismes de recherche, ce qui contraste avec les centres de recherche américains, par exemple.

Le réseau de recherche en TI est particulièrement bien développé. Le VTT fait d'ailleurs partie du chapitre nordique de l'International Alliance for Interoperability (voir le chapitre 5) avec la Suède, la Norvège et le Danemark. Il entretient des liens avec plusieurs autres groupes de recherche actifs en TI dans le cadre des 15 projets en cours sur l'intégration des TI au processus de

23. Le secteur de la construction de Skanska, particulièrement celui du bâtiment, enregistre des ventes de près de 28 milliards de dollars (163 milliards de SEK), soit 71 % des ventes totales du groupe Skanska. Il emploie un total de 77 000 personnes partout dans le monde, mais surtout aux États-Unis où il réalise 41 % de ses ventes. Le groupe NCC enregistre des ventes annuelles de l'ordre de 8 milliards de dollars (46 milliards de SEK) et compte 28 000 employés. Ce groupe a construit 13 000 maisons en 2001 en Suède. Il est présent dans tous les secteurs de la construction.

24. Taux de change utilisé : 1,55 \$/euro.

25. Ces chiffres sont en hausse par rapport à ceux que l'on peut retrouver dans le dernier rapport annuel disponible sur le site du VTT, celui de 1998 (370 employés et un budget de 46 millions de dollars).

construction. Le VTT est également directement associé à l'International Lean Construction Institute, par l'entremise d'un de ses chercheurs, Lauri Koskela, fondateur de l'institut.

Le deuxième outil d'aide à la R-D est Tekes – l'agence nationale pour la technologie. Cet organisme finance des projets de recherche au moyen des fonds alloués par le ministère du Commerce et de l'Industrie. Les *Programmes technologiques nationaux* sont le principal instrument utilisé par l'agence. Tekes soutient depuis 1995 les programmes relatifs au bâtiment pour une durée variant de un à cinq ans. Le programme Pro-Build (*Progressive Building Process*) s'est étendu de 1997 à 2001 et visait à optimiser le processus de construction de façon à mieux répondre aux besoins des occupants. Largement basé sur les approches du bâtiment ouvert (*open building*), ce programme a financé 82 projets de recherche pour une valeur totale de 20 millions de dollars (13 millions d'euros). Le *Value Added Wood Chain* fait partie des principaux programmes en cours. Il est destiné à augmenter l'utilisation et la valeur ajoutée des matériaux de construction en bois. Il favorise des contrats de coopération entre les entreprises. Il a une envergure d'environ 52 millions de dollars (34 millions d'euros), financés à 50 % par Tekes. Le projet *Vera* a pour objectif d'introduire les TI dans le processus de construction, sur la base de l'utilisation des structures IFC développées par l'International Alliance for Interoperability (voir le chapitre 5). Les objectifs visés par ce projet sont une hausse de la rentabilité de l'industrie, l'amélioration de la qualité des constructions et l'augmentation des exportations. Le budget global du projet se chiffre à 65 millions de dollars (42 millions d'euros) financés à 50 % par Tekes et à 50 % par l'industrie. Un troisième projet d'intérêt est le *Healthy Building*, dont les objectifs sont d'accroître le savoir-faire en matière de qualité de l'air intérieur de manière à développer une expertise de niveau international; d'élaborer des critères de salubrité pour le bâtiment; de développer des produits à la fine pointe, compétitifs et exportables; de mettre en œuvre des processus de diagnostic de la qualité de l'air intérieur. Le budget du projet s'élève à environ 6 millions de dollars (4 millions d'euros).

Tekes, l'agence nationale pour la technologie

Un deuxième type de programme offert par Tekes est celui des « cliniques technologiques » spécialement destiné aux PME. Les projets sont de petite envergure et servent spécifiquement au transfert technologique vers les PME. Ils sont financés conjointement par Tekes et par les entreprises. En 2000, huit projets étaient liés de près ou de loin au secteur de la construction. Par exemple, le *Technology Strategy Clinic* cherche à combler l'écart entre les objectifs d'affaires des PME et les projets de recherche et développement. Ce projet comprend une revue des stratégies de l'entreprise en vue de cibler de nouvelles possibilités technologiques, lesquelles sont analysées dans des ateliers de travail réunissant le personnel clé de l'entreprise et les producteurs de R-D. Ce processus, d'une durée moyenne de trois à six mois, rehausse les compétences internes de l'entreprise. Plus de 70 entreprises ont bénéficié du programme²⁶.

Les cliniques technologiques destinées aux PME

26. Tapio Koivu et Kaj Mäntylä, « Innovation in the Finnish construction and real estate industry: The role of public policy instruments », dans A. Manseau et G. Seaden, *op. cit.*

Les grandes entreprises

L'industrie finlandaise du bâtiment se caractérise également par la présence de très grandes entreprises actives autant dans le secteur résidentiel que dans le secteur non résidentiel²⁷. La compagnie YIT, spécialisée en R-D, a mis au point un système de modélisation des composantes 3D basé sur les IFC, dont nous avons parlé au chapitre 5. L'effort de recherche de Honka était de l'ordre de un million d'euros en 2001, soit 1,5 % de ses ventes totales. Il vise l'amélioration de la fabrication des composants préfabriqués.

Depuis le premier janvier 2002, la Confédération des industries finlandaises de la construction regroupe les entrepreneurs et les fournisseurs de matériaux en une seule organisation. Ce regroupement n'est pas que symbolique. Avec la participation d'organismes gouvernementaux (comme Tekes), les représentants des grandes entreprises ont développé un outil de planification stratégique sectoriel qui détermine de grandes cibles à atteindre pour 2010 dans les domaines du bâtiment non résidentiel, des infrastructures, des technologies de l'information, de l'expertise environnementale et de l'habitation²⁸. Des entreprises ont également mis sur pied l'Institut de l'information sur le bâtiment, une fondation privée dont la mission est de promouvoir les pratiques exemplaires en planification et gestion de projet de construction.

Universités

Les deux principales universités actives dans le domaine du bâtiment sont celles de Tampere et d'Helsinki. Le département de génie civil de l'Université d'Helsinki, en particulier, héberge le groupe de recherche Construction and Economics Management qui se spécialise dans les aspects organisationnels et juridiques de la construction et de la production de composants manufacturés. Ce groupe comprend une quinzaine de chercheurs.

Les pays scandinaves en bref

Les pays scandinaves ont toujours favorisé l'investissement en R-D. En Finlande, en 2001, les dépenses de R-D liées au secteur de la construction pris dans son ensemble représentaient environ 150 millions de dollars US, dont le tiers provenait de fonds publics²⁹. En Suède, la contribution des entreprises est également de 70 % du total des dépenses en R-D³⁰. La Finlande et la Suède se démarquent par l'importance accordée au secteur de la construction et du bâtiment, tant sur le plan industriel que du point de vue des efforts de R-D. On y trouve des centres de recherche majeurs, une forte participation des universités et une volonté manifeste de s'inscrire dans des réseaux de collaboration internationale, particulièrement au sein de la communauté européenne, de façon à profiter au maximum des opportunités commerciales. Au Swedish National Testing and Research Institute, on a procédé à une normalisation de façon que

27. La compagnie NCC Finland (filiale de la suédoise NCC) a produit 2200 maisons en 2001, cumulant un chiffre d'affaires de 219 millions d'euros sur les 628 millions qu'a enregistrés l'entreprise. Elle compte plus de 2000 employés). En 2001, YIT a construit près de 3000 maisons et le secteur résidentiel représente 77 % de ses ventes de près de 600 millions d'euros. La compagnie Honka, quant à elle, est le plus grand fabricant mondial de maisons pièce sur pièce, avec des ventes totales de 78 millions d'euros.

28. Voir les rapports *Vision 2010*, disponibles à l'adresse <www.visio2010.org>.

29. Tapio Koivu et Kaj Mäntylä, *op. cit.*

30. « The changing pattern of industrial scientific research collaboration in Sweden », *Research Policy*, 29(1) (2000).

les produits puissent être diffusés dans toute l'Europe³¹. La stratégie des grandes entreprises comme Skanska repose également sur l'exportation. En Finlande, au cours des années 1990, la part de l'exportation en biens et services associés au bâtiment est passée de 40 % à 60 % du chiffre d'affaires total de ce secteur³².

Le concept de développement durable, particulièrement le concept de bâtiment sain, sert de moteur à la recherche et à l'innovation, comme l'a fait l'efficacité énergétique il y a une vingtaine d'années. L'utilisation des TI comme levier à une industrialisation plus poussée du bâtiment fait l'objet d'une attention particulière et les pays scandinaves sont en avance sur ce plan. La compagnie finlandaise YIT a mis au point le système COVE, qui intègre l'ensemble des étapes d'un projet, de la conception jusqu'à l'exploitation, dans un même système d'information. COVE est compatible avec les IFC (voir le chapitre 3). Il a été utilisé pour la construction d'un auditorium de 600 places à l'Université d'Helsinki³³.

Développement durable, un moteur à la recherche

6.7 Le Japon³⁴

La structure de l'industrie de la construction au Japon

Le secteur de la construction au Japon, tout comme c'est le cas dans l'ensemble des pays, se compose d'une multitude de petites firmes. En effet, en 1996 il existait 560 000 entreprises de construction dans ce pays, dont 90 % employaient moins de vingt employés. Cependant, le Japon compte également une soixantaine de grosses entreprises, dont une dizaine sont parmi les plus grosses au monde. Les vingt plus grosses entreprises accaparaient 18 % du marché. Elles possèdent toutes des centres de recherche disposant d'un matériel dispendieux et sophistiqué, tels des simulateurs sismiques, des simulateurs pour tester l'effet de vent, etc.

La construction au Japon représente un pourcentage du PIB beaucoup plus élevé qu'au Canada ou aux États-Unis. En fait, la valeur des investissements en construction au Japon convertis en dollars américains équivaut pratiquement à celle des États-Unis. Pourtant, à la suite de l'éclatement de la bulle financière en 1990, l'industrie de la construction japonaise traverse une période difficile, sa part dans le PIB ayant chuté de 18,6 % en 1990 à 14,3 % en 1998. Malgré cette baisse, le secteur de la construction continue de représenter un pourcentage appréciable du PIB.

La construction représente un pourcentage appréciable du PIB

À lui seul, le gouvernement accapare 47,4 % de la demande. Ses commandes en travaux d'ingénierie combinées avec celles du secteur privé sont telles qu'elles constituent près de 50 % des investissements en construction, le reste se répartissant à peu près également entre la construction résidentielle et la construction non

Un gouvernement influent

31. Paul Fazio et Louis Poliquin, *op. cit.*

32. Rapport annuel du VTT Building Technology, 1998.

33. Rapport annuel de l'entreprise YIT, 2001.

34. Les documents suivants furent très utiles dans l'élaboration de cette section : NIST, « Innovation in the Japanese Construction Industry », *A 1995 Appraisal*, mars 1996 ainsi que R. Tanaka, S. Okamoto et T. Kikuoka, « Japan Public Policy Instruments and Innovation in Construction », dans A. Manseau et G. Seaden, *op. cit.*

résidentielle. Le gouvernement japonais a donc toujours disposé d'un grand pouvoir pour influencer les grands constructeurs japonais et il s'en est servi activement.

L'innovation dans les grandes entreprises japonaises de construction

Les entreprises japonaises investissent plus que leurs homologues des autres pays en R-D

Comme nous l'avons mentionné au premier chapitre, les entrepreneurs japonais du secteur de la construction investissent beaucoup plus que leurs homologues des autres pays en R-D. En fait, leurs investissements dépassent les investissements des entreprises américaines, bien qu'ils aient plafonné, voire diminué, depuis 1994 (graphique 6.1). C'est ainsi qu'en 1999 les dépenses de R-D des firmes japonaises en construction ont totalisé un montant de 1 257 millions de dollars US (converti en utilisant la parité du pouvoir d'achat) contre 699 millions de dollars US pour les firmes américaines. Leur performance est d'autant plus remarquable que la taille de l'économie japonaise est environ deux fois moindre et que la récession qui paralyse le Japon depuis le début des années 1990 affecte particulièrement ce secteur.

Ce sont avant tout les grandes entreprises japonaises qui effectuent la majeure partie de la R-D. En effet, les vingt plus grandes firmes réalisent 60 % de la R-D. Les laboratoires de ces firmes sont énormes et ils disposent de ressources qui sont en moyenne de plus du double de celles du Building Research Institute (BRI), un centre de recherche gouvernemental (tableau 6.6).

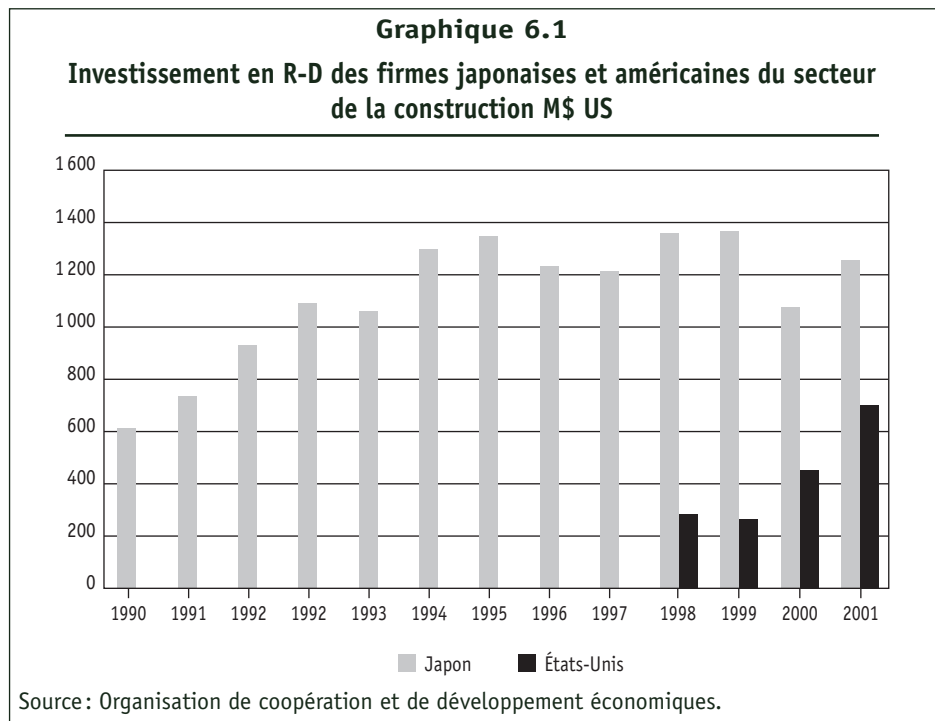


Tableau 6.6
Centres de recherche des cinq plus grandes firmes japonaises de construction

	Budget (M\$)	Personnel	Chercheurs
Ohbayashi	84,0	348	217
Kajima	112,8	431	258
Shimizu	75,2	356	221
Taisei	65,2	210	170
Takenaka	114,1	259	206
BRI	40,1	171	117

Source : Satoshi Kose, « Building Research Institute in Japan : past, present and future », *Building Research and Information*, 25(5) (1997).

Le gouvernement japonais a fortement incité les grandes firmes à effectuer de la recherche. La politique gouvernementale relative aux appels d'offres a eu pour effet de forcer les grandes firmes à investir en recherche. En effet, pour pouvoir effectuer une soumission sur les appels d'offres publics, une entreprise doit se préqualifier. Or, pour ce faire la firme doit démontrer qu'elle possède l'expertise technique nécessaire, soit parce qu'elle a déjà réalisé un projet semblable, soit parce qu'elle a effectué suffisamment de R-D pour que son concept ou celui exigé par le gouvernement soit sécuritaire et d'un niveau technologique conforme aux attentes gouvernementales. Jusqu'en 1993, le gouvernement choisissait les firmes qui pouvaient soumissionner et il se contentait d'informer les firmes écartées des raisons pour lesquelles leur candidature n'avait pas été retenue. Cela a eu pour effet d'inciter les grandes firmes à investir massivement en R-D. Comme les commandes gouvernementales représentent près de la moitié de la valeur des investissements en construction, on se rend bien compte que les firmes n'avaient guère d'autre choix que d'effectuer de la R-D pour prospérer. Il semble que le fait d'écartier sommairement certaines firmes dès le départ a donné lieu à des excès qui ont été dénoncés au début des années 1990. Depuis 1993, le gouvernement a modifié son mécanisme et désormais toutes les firmes qui répondent aux exigences techniques peuvent se qualifier; autrement dit, aucune firme n'est écartée si elle répond aux exigences techniques. Cela n'a pas entraîné une diminution des efforts de R-D des grandes entreprises qui se font toujours concurrence, notamment au moyen de leurs capacités technologiques. Très peu de firmes étrangères ont pu obtenir des contrats publics au Japon. Les quelques firmes étrangères qui l'ont fait se sont cantonnées dans des domaines technologiques plutôt élémentaires. D'ailleurs, de l'avis même de deux différentes équipes d'observateurs américains qui ont visité le Japon au début puis au milieu

*Politique
gouvernementale
incitative*

des années 1990³⁵, il semble que les grandes firmes de construction japonaises sont plus avancées que la plupart de leurs compétiteurs internationaux dans plusieurs domaines.

*La R-D considérée
comme un outil
stratégique*

Un grand nombre d'observateurs de l'industrie en sont arrivés à la conclusion que plusieurs des laboratoires, s'ils étaient situés aux États-Unis, verraient leur existence menacée ou à tout le moins leur taille diminuer, parce que plusieurs projets de recherche ne seraient pas rentables sur le plan strictement économique, du moins à court terme. En fait, les grandes entreprises s'en servent non seulement à des fins technologiques, mais également pour démontrer au gouvernement, au public japonais ainsi qu'aux visiteurs étrangers qu'ils disposent d'une grande capacité technologique et qu'ils devancent leurs compétiteurs nationaux ou étrangers. Ces laboratoires constituent également un obstacle à l'entrée de nouvelles firmes tant sur les marchés publics que privés. En effet, même le secteur privé préfère traiter avec de grandes firmes qui disposent de solides capacités technologiques. En somme, les firmes ont adopté un point de vue à long terme quant à la rentabilité de leurs investissements en R-D et non pas une évaluation de court terme portant sur chaque projet de recherche comme on le fait aux États-Unis. Cette stratégie n'est sûrement pas mauvaise, puisque la part de marché des 59 plus grandes firmes a augmenté, passant de 22,2 % en 1985 à 32,6 % en 1990. De plus, ces mêmes firmes ont un taux de profit en pourcentage des ventes qui est supérieur de 1 % à la moyenne du secteur de la construction.

En plus de chercher à augmenter leur part de marché et à limiter la concurrence, les grandes firmes investissent en R-D pour d'autres motifs : améliorer les infrastructures privées et publiques, réduire les coûts de construction, assurer la solidité des immeubles et des infrastructures – en particulier contre les tremblements de terre –, améliorer la qualité de la main-d'œuvre et l'image du secteur pour attirer des jeunes (en la présentant comme une industrie de pointe), rehausser la sécurité sur les chantiers, sans oublier les préoccupations environnementales.

*Les firmes
japonaises en
avance dans
plusieurs secteurs*

La R-D a permis aux firmes japonaises de se distinguer sur plusieurs plans. C'est ainsi qu'au début des années 1990 les firmes japonaises étaient en avance dans les techniques d'excavation profonde et de creusement de tunnels, dans les structures résistant aux tremblements de terre, dans les systèmes de conservation de l'énergie, en automation et robotique sur les chantiers, dans les édifices dits intelligents qui font appel aux TI (immotique), dans la mise au point de bâtiments de haute technologie comme les chambres blanches, etc. Au cours des années 1990, la conjoncture économique plus difficile a entraîné une certaine réorientation vers des projets de nature plus appliquée. Dans le secteur du bâtiment, plusieurs projets portent maintenant sur le développement de béton à haute performance, sur la commercialisation de systèmes de manutention des matériaux sur les chantiers, sur la mise au point de toitures temporaires pour

35. Voir Japanese Technology Evaluation Center, *Construction Technologies in Japan*, juin 1991 ainsi que NIST, *Innovation in the Japanese Construction Industry*, op. cit.

protéger les travailleurs des intempéries, sur différentes technologies relatives aux tremblements de terre, sur des technologies environnementales (conservation de l'énergie, recyclage du CO₂, émissions zéro), etc. Dans le domaine du génie civil, plusieurs recherches ont traité de l'environnement (recyclage, purification de l'eau et décontamination des sols, compost, etc.) ainsi que des méthodes d'excavation, en particulier dans le creusage de tunnels.

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, les firmes japonaises sont en avance dans la préfabrication des maisons; elles le sont également dans la préfabrication de divers éléments tels que les poutres dans la construction non résidentielle et les travaux de génie. Ces éléments fabriqués en usine et assemblés sur les chantiers peuvent être produits, même en petites quantités, de manière efficace. Les firmes japonaises ont appris à combiner divers matériaux, tels que l'acier, le béton armé ainsi que du béton renforcé avec des matériaux composites. Ces méthodes de préfabrication permettent d'augmenter la productivité sur les chantiers et d'améliorer la sécurité.

Ce ne sont pas toutes les innovations cependant qui trouvent preneur³⁶. C'est ainsi qu'au début des années 1990, des firmes ont mis au point des systèmes automatisés pour construire des édifices en hauteur, certains de trente étages. Ces systèmes sont très sophistiqués et font notamment appel à des robots pour souder les poutres d'acier. Cependant, même les entreprises qui ont conçu ces systèmes n'ont plus l'intention de s'en servir, du moins à court terme, à cause des coûts qui sont supérieurs à ceux des méthodes traditionnelles.

Les Japonais sont en général opposés au risque et cela se reflète dans leurs méthodes de construction. Le ministère de la Construction travaille de concert avec les firmes afin de s'assurer que les nouvelles technologies seront entièrement sécuritaires et efficaces. C'est ainsi qu'il finance une partie (quoique minime) des recherches et surtout qu'il encourage plusieurs firmes à poursuivre des recherches dans la même direction. Il y a, dès lors, chevauchement des projets, mais cette approche présente plusieurs avantages: les nouvelles technologies ont été testées et re-testées dans différentes entreprises (notamment avec des modèles réduits soumis à des vibrations, aux effets du vents, etc.), y compris parfois dans les laboratoires gouvernementaux; les possibilités de litige sont minimales, puisque les technologies nouvelles ont été éprouvées plusieurs fois avant d'être mises sur le marché. De plus, le gouvernement incite les grandes entreprises à accorder des licences sur ces technologies et s'assure ainsi que la technologie se répand dans l'ensemble du secteur. En fait, il semble que, pour des raisons d'efficacité, le ministère de la Construction cherche à décourager les firmes qui voudraient développer seules une technologie radicalement nouvelle. Les nouvelles technologies prennent entre cinq à dix ans avant d'atteindre le marché.

*Les innovations
ne trouvent pas
toujours preneur*

36. D'ailleurs, une nouvelle technologie qui ne réussit pas à s'implanter sur un marché ne peut être qualifiée d'innovation au sens strict du terme tel que le définit l'OCDE.

Les entreprises adaptent à leurs besoins les nouvelles TI étrangères

Par contre, sur le plan des technologies de l'information, selon certains observateurs, les entreprises japonaises étaient légèrement en retard sur les firmes américaines au milieu des années 1990. Elles seraient plus des suiveurs que des innovateurs véritables, dans le domaine des TI notamment. Toutefois, l'une de leurs forces traditionnelles consiste à adapter assez rapidement à leurs besoins les nouvelles technologies étrangères lorsque celles-ci ont fait leurs preuves. Elles réussissent même souvent à les améliorer.

Les entreprises japonaises du secteur de la construction ont recours aux méthodes statistiques de contrôle de la qualité. Plusieurs entreprises travaillent également à se qualifier pour les normes ISO 14000 relatives à l'environnement. Les grandes entreprises ont de plus recours à la livraison juste-à-temps (JIT). Plusieurs utilisent les codes à barres sur les matériaux afin de mieux gérer les stocks de matériaux. Étant donné le peu d'espace disponible autour de plusieurs chantiers de construction, la livraison JIT devient pratiquement une nécessité.

Les nouvelles méthodes de travail expérimentées d'abord au Japon

Les nouvelles méthodes de travail, comme la conception-construction (design-build), le partenariat, etc., ont fait leur apparition au Japon bien avant que les autres pays les expérimentent. Les grandes firmes de construction ont toutes intégré le design à leurs activités. De plus, elles préfèrent des partenariats stables avec leurs sous-traitants. Cela leur permet d'établir des relations de confiance et facilite le transfert de l'information et la gestion des chantiers. Les clients également préfèrent traiter avec les mêmes firmes sur une base continue. Les disputes et les litiges sont rares, car les relations sont établies à long terme et l'on préfère négocier et résoudre les problèmes ensemble au fur et à mesure qu'ils se présentent. D'ailleurs, la confiance entre les différentes entreprises est telle que, dans plusieurs cas, les travaux débutent avant même que les documents légaux soient signés.

Le Japon vise le marché de l'exportation pour contrer la récession

Nous avons vu au premier chapitre que jusqu'au début des années 1990, les grandes firmes de construction japonaises étaient peu présentes sur le marché international. Or, ces entreprises tentent de plus en plus de percer le marché extérieur étant donné la récession qui perdure au Japon depuis 1990. Les entreprises japonaises ciblent en particulier le marché asiatique, particulièrement la Chine. Il faut s'attendre à ce qu'elles deviennent des compétiteurs de plus en plus aguerris. La valeur élevée du yen au milieu des années 1990 leur a nui, mais sa dépréciation subséquente les favorise dorénavant.

Un facteur qui désavantage les laboratoires des grandes firmes est le fait qu'il n'existe pratiquement aucun mouvement de personnel entre elles. Cela entrave la diffusion des connaissances et donc des technologies entre les firmes. C'est vraisemblablement pour tenter de remédier à ce problème que les entreprises ont créé au milieu des années 1990 l'Advanced Construction Technology Center (ACTEC), dont la mission est de promouvoir des recherches menées conjointement par les entreprises, les universités et les laboratoires gouvernementaux, de diffuser une information approfondie sur les technologies de construction, d'améliorer les évaluations des technologies susceptibles d'être appliquées prochainement et de communiquer les résultats aux entreprises. L'ACTEC est financé en totalité par les grandes entreprises de ce secteur.

Le rôle des universités

Par comparaison avec leurs homologues américaines et européennes, les universités jouent un rôle mineur sur le plan de la recherche dans le secteur de la construction. Les entreprises attendent avant tout que les universités forment de bons étudiants qui maîtrisent bien l'ingénierie, l'architecture et les différentes disciplines scientifiques. Elles désirent également que les professeurs effectuent de la recherche fondamentale et qu'ils en fassent profiter leurs étudiants, non pas qu'ils développent de nouveaux matériaux par exemple. Les professeurs jouent toutefois un rôle de conseillers et de consultants auprès des entreprises ainsi que des organismes de recherche gouvernementaux.

*Un rôle mineur
des universités*

Cependant, la situation change depuis peu. En effet, il semble que de plus en plus de professeurs effectuent des travaux de recherche de nature plus appliquée et qu'ils collaborent de plus en plus avec les entreprises. Il demeure dans l'ensemble que les universités ont jusqu'ici joué un rôle relativement mineur.

Le rôle des laboratoires gouvernementaux

Le gouvernement japonais dispose de trois centres de recherche, soit le Building Research Institute (BRI), le Fire Research Institute (FRI) et le Public Works Research Institute (PWRI). Le BRI, créé en 1946, disposait d'un budget de 39 millions de dollars en 1995 et employait 170 personnes. Jusqu'au début des années 1980, le BRI disposait d'un budget de recherche important par rapport à celui des grandes entreprises. Cependant, à la suite des investissements massifs des grandes entreprises en recherche au cours des années 1980, le BRI s'est vu dépasser par les entreprises sur le plan de la recherche, à tel point qu'il a dû chercher à redéfinir son rôle à la fin des années 1990³⁷. Le BRI dispose d'une expertise reconnue dans les domaines associés aux tremblements de terre, aux effets du vent sur les structures ainsi que du feu. Au cours des années 1990, les sujets de recherche ont porté notamment sur l'utilisation de nouveaux matériaux tels que les fibres de carbone, les plastiques et le verre afin de réparer et de renforcer le béton et l'acier dans les infrastructures et dans les édifices. Plusieurs recherches ont également porté sur les bétons à haute performance.

*Trois centres de
recherches
gouvernementaux*

Le FRI disposait quant à lui d'un budget de 10 millions de dollars et employait 103 personnes. Bien entendu, ses domaines de recherche sont liés au feu : comment mieux le détecter, le contrôler, comment la fumée se propage dans les édifices, etc. Il collabore étroitement avec son homologue américain sur ces différents sujets.

Le PWRI est le laboratoire le plus important. Il disposait en 1994 d'un budget de 156 millions de dollars et employait 470 personnes. Le PWRI est le bras technique du ministère de la Construction. Il effectue des recherches sur les barrages, le contrôle de l'érosion, les routes, les matériaux ainsi que les méthodes de construction, les infrastructures comme les ponts et la prévention de désastres naturels, en particulier les tremblements de terre.

37. Voir Satoshi Kose, *op. cit.*

Les laboratoires publics accaparent un faible pourcentage du total de la recherche

Au milieu des années 1990, la recherche conduite par les grandes entreprises constituait 92 % du total de la recherche sur la construction, les 8 % restants allant aux laboratoires publics. Le BRI en particulier n'a pu que constater qu'il s'était fait dépasser par les entreprises dans plusieurs domaines de recherche. C'est pourquoi il semblait vouloir se concentrer dorénavant dans les domaines d'expertise qui lui sont propres, soit l'élaboration des politiques d'habitation, la recherche relative au feu, la planification urbaine, l'élaboration des normes du Code du bâtiment et, enfin, la dispensation de cours en sismologie où son expertise est unique.

6.8 Constats

- Relativement aux autres secteurs de recherche, le **gouvernement américain** investit peu en recherche sur la construction. C'est avant tout le ministère de la Défense qui l'a fait, notamment dans le développement des nouvelles pratiques organisationnelles du travail, et qui a contribué à diriger ces nouvelles pratiques vers le secteur privé. Une initiative marquante est le financement du programme PATH qui touche le secteur résidentiel.
- Traditionnellement, les entreprises américaines du secteur de la construction ont peu investi en R-D. Toutefois, depuis le milieu des années 1990, on observe une forte intensification de leurs efforts de recherche. De plus, les grandes firmes de ce secteur, en collaboration avec les grandes entreprises clientes, se sont engagées en ce sens en créant le Construction Industry Institute au début des années 1980. Le CII met en œuvre de nouvelles pratiques organisationnelles sur les chantiers de construction au moyen de projets d'expérimentation et de démonstration dont les résultats sont largement diffusés. En somme, les entreprises expérimentent de nouvelles pratiques innovatrices qu'on cherche par la suite à transmettre à l'ensemble de l'industrie.
- Un frein majeur à l'innovation tient au fait que le gouvernement fédéral continue de recourir aux méthodes traditionnelles d'attribution des contrats publics, soit la règle du plus bas soumissionnaire.
- Au **Royaume-Uni**, on a observé au cours des cinq dernières années une volonté ferme, tant de la part du gouvernement que des grandes entreprises, d'innover davantage. L'élément déclencheur fut la parution du rapport *Rethinking Construction* en 1998. Celui-ci a eu un impact majeur, puisque le premier ministre s'est engagé publiquement à mettre en œuvre ses recommandations.
- L'une des premières retombées du rapport fut la création du Mouvement pour l'innovation. L'idée de base du mouvement et son principal moyen d'action consistent à recourir à des projets d'expérimentation au sein des entreprises. Cette approche est identique à celle du CII aux États-Unis. Les projets sont suivis de près, leur performance mesurée à l'aide de toute une série d'indicateurs, puis comparée à celle de l'ensemble du secteur

de la construction. Les résultats sont largement diffusés. Le gouvernement appuie financièrement ce mouvement et l'aide en effectuant des projets de démonstration, notamment dans le logement social.

- Une autre retombée de *Rethinking Construction* est que le gouvernement cherche activement à l'heure actuelle à modifier sa politique d'achat public en matière de construction. Cette politique mise sur de nouvelles pratiques, comme le partenariat, le *Design-Build*, le *BOOT*, le *Construction Management*, sans oublier la prise en considération du rapport qualité-prix plutôt que du plus bas soumissionnaire.
- Seule ombre au tableau, le gouvernement a diminué de façon marquée son soutien à la recherche publique en privatisant le Building Research Establishment (BRE). Cela risque d'affecter négativement les projets de recherche de moyen et long terme.
- **En France**, l'industrie est plus concentrée qu'elle ne l'est au Canada et au Québec. Quelques très grandes entreprises dominent le marché et elles sont très actives sur le marché international. De plus, ces grandes firmes intègrent la conception et la construction.
- Le gouvernement français accorde un soutien réel à la recherche publique, que ce soit dans le secteur du bâtiment ou dans celui des travaux de génie. Au cours des dernières années, les crédits alloués à la recherche ont même été en hausse. De plus, la recherche en urbanisme est maintenant intégrée à la recherche sur les bâtiments.
- Les fournisseurs de matériaux peuvent également compter sur de nombreux centres de recherche, les centres techniques et industriels, dont le financement est stable, puisqu'il provient à plus de 50 % d'une partie de la TVA sur la vente des matériaux.
- Une initiative marquante du gouvernement fut la création au début des années 1970 du programme Plan Construction et Architecture qui finance des projets expérimentaux réalisés conjointement ou non par des entrepreneurs généraux, avec le concours de chercheurs universitaires, ceux du CNRS ou des écoles de génie, ainsi que des firmes d'architectes et d'ingénieur. Ce programme a permis d'augmenter considérablement la recherche et de réunir les différents intervenants. Les résultats sont largement diffusés.
- **En Suède**, le gouvernement joue un rôle majeur. L'Institut de recherche sur la construction profite de ressources importantes. L'industrie de la construction est concentrée grâce à la présence de quelques très grandes entreprises qui sont actives sur les marchés internationaux. Le secteur de l'habitation l'est également. Une seule firme a construit plus de 13 000 unités en 2001. Les firmes suédoises investissent beaucoup en R-D, en fait autant, en termes relatifs, que les firmes japonaises. C'est un facteur qui stimule l'innovation dans ce secteur. Les entreprises et les syndicats suédois sont également présents en recherche par l'intermédiaire d'un fonds financé par des cotisations d'entreprises proportionnelles au nombre d'employés.

- **En Finlande**, le gouvernement accorde un financement important à la recherche publique. C'est ainsi que le centre de recherche sur la construction bénéficie d'un financement deux fois plus élevé que son homologue canadien, alors que la population de la Finlande est six fois moindre. Le gouvernement finance plusieurs projets majeurs de recherche qui s'étendent en général sur une période de cinq ans. Les domaines des TI, l'optimisation des processus de construction, l'augmentation de la valeur ajoutée dans le bois, la qualité de l'air sont privilégiés. Le financement se fait conjointement avec les entreprises. Les projets visent en particulier à augmenter les exportations. Il existe un solide partenariat entre les grandes entreprises et les fonds subventionnaires afin d'améliorer l'innovation. L'industrie est très concentrée en Finlande grâce à la présence de grandes entreprises, notamment dans le secteur résidentiel.
- Le concept de développement durable sert de moteur à la recherche et à l'innovation tant en Finlande qu'en Suède. De plus, plusieurs projets misent sur les TI pour industrialiser le secteur du bâtiment.
- **Au Japon**, les très grandes entreprises accaparent le tiers du marché national. Ces entreprises sont parmi les plus grandes au monde, bien qu'elles soient encore peu présentes sur les marchés internationaux. Elles investissent des montants substantiels en recherche. En fait, elles sont les leaders mondiaux dans le domaine. Ces mêmes firmes sont réputées pour être parmi les firmes les plus avancées sur le plan technologique au niveau mondial.
- C'est le gouvernement japonais qui, au moyen de sa politique d'achat, a fortement incité les firmes à investir en recherche. En effet, pour se qualifier dans un projet public, une firme doit faire la preuve qu'elle possède l'expertise technique et technologique nécessaire, ce qui demande qu'elle effectue de la recherche. Comme le gouvernement représente près de la moitié de la valeur des contrats de construction, sa politique a fortement incité les firmes japonaises à investir en R-D.
- Les entreprises japonaises intègrent depuis fort longtemps les services de conception et de construction, de sorte que le *design-build* fait partie de leurs pratiques. De plus, elles fonctionnent en partenariat stable avec les sous-traitants. Par conséquent, les relations sont harmonieuses entre les firmes qui travaillent à un même projet.
- Les universités japonaises sont peu actives en recherche dans le domaine de la construction.
- Récemment, les centres de recherche gouvernementaux ont dû délaissé plusieurs domaines de recherche, étant donné que les entreprises investissaient massivement dans les mêmes domaines et que la recherche publique était ainsi devenue superflue. Les centres se concentrent désormais sur quelques domaines où leur expertise est reconnue et nécessaire.

7 L'innovation et le secteur du bâtiment au Québec

Ce chapitre vise à tracer un portrait de différents éléments influençant l'innovation dans le secteur du bâtiment au Québec. Il trace en premier lieu un portrait de la recherche universitaire et publique. Dans un deuxième temps, il traite des ressources humaines tant professionnelles que techniques. Dans un troisième temps, il examine la problématique de l'exportation. Par la suite, la réglementation et son impact sur le secteur sont examinés. Le chapitre conclut en traitant de la sécurité.

7.1 La recherche

Portrait général

Une des premières difficultés rencontrées au moment d'établir un portrait général de la recherche dans le domaine de la construction a trait aux catégories statistiques retenues par les différents organismes qui compilent des données sur le sujet.

Catégories statistiques aux contours flous

Étant donné la nature très complexe de l'activité de construction, les résultats de la recherche qui trouvent une application dans ce secteur peuvent provenir de différentes branches du savoir et donc être catégorisées dans autant de domaines. Si l'architecture et le génie civil sont des disciplines naturellement associées au bâtiment, elles incluent également l'étude des travaux de génie, de la résistance des matériaux, de la géotechnique et de l'hydraulique, des réseaux de transport urbains, de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme. Ces distinctions n'apparaissent pas toujours dans les catégories statistiques. Inversement, la contribution des disciplines qui ne sont pas naturellement associées au bâtiment comme le génie mécanique (en acoustique du bâtiment par exemple) ou le génie chimique (sur la mise au point de nouvelles colles pouvant être utilisées dans les matériaux de construction) est difficilement repérable. Ainsi, un produit peut avoir été développé par des chercheurs provenant de ces disciplines extérieures et trouver dans le bâtiment un champ d'application imprévu.

L'encadré suivant donne un exemple d'un projet semblable.

Un isolant acoustique pour les édifices

La compagnie Royal Mat est spécialisée dans le recyclage de pneus et a mis au point des procédés permettant de les transformer en recouvrements de sol destinés d'abord au marché de l'agriculture.

Au début des années 1990, Royal Mat a réalisé un nouveau produit destiné à contrôler le bruit dans les édifices. Une membrane de caoutchouc recyclé est insérée dans le plancher de béton d'un édifice à bureaux. La recherche financée par le PARI permet d'améliorer les performances du produit en mettant en lumière la relation qui existe entre le design physique et les propriétés acoustiques de la membrane. Le développement d'une presse spéciale et d'une méthode de lubrification fait également l'objet de subventions dans le cadre du PARI.

L'Institut de recherche en construction a cependant refusé d'homologuer le produit en raison des fortes odeurs de caoutchouc et des teneurs élevées en benzène. L'intervention d'un chimiste a permis de trouver une solution réduisant les émissions de benzène de 80 %, mais les normes de Santé Canada spécifient une teneur 0. Des recherches supplémentaires au CRIQ et à l'Université de Saskatoon ont finalement démontré la non-toxicité du produit NEUTRAPHONE et permis son homologation par Santé Canada.

Le produit NEUTRAPHONE est maintenant commercialisé et fait partie d'une gamme de produits de recyclage destinés à différents marchés.

La recherche universitaire

Classification retenue de la recherche universitaire

Malgré ce qui précède, un examen de la nature et du financement des projets de recherche dans les secteurs traditionnellement identifiés au secteur du bâtiment, soit le génie civil et l'architecture, peut nous éclairer sur leurs forces et sur leurs faiblesses au Québec.

Nous avons compilé à partir de la banque SIRU (Système d'information sur la recherche universitaire) l'ensemble des projets de recherche apparaissant sous les codes Génie civil, de la construction et des transports, Génie architectural, Architecture et Architecture urbaine. Nous les avons ensuite regroupés en sept catégories à l'aide des mots clés du titre du projet, de la spécialité des chercheurs responsables ou de celle des groupes de recherche auxquels ils étaient affiliés. La classification retenue est la suivante :

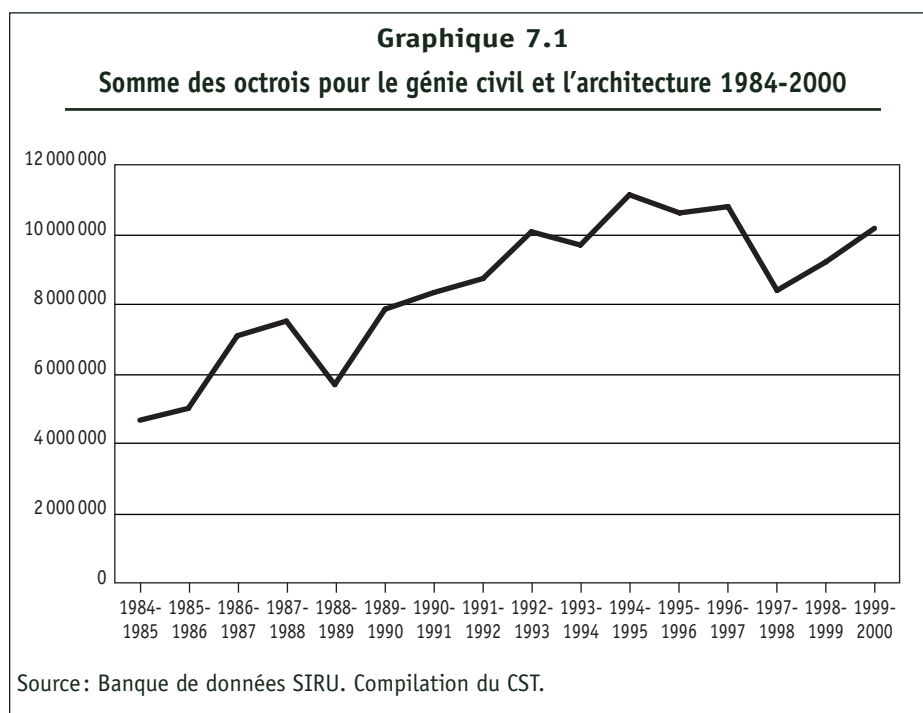
- Matériaux (béton, matériaux composites);
- Travaux de génie (ponts, barrages, routes, aqueducs et égouts...);
- Bâtiment (structure, enveloppe, qualité de l'air intérieur, systèmes constructifs...);
- Structures (projets portant sur des structures qui n'ont pas été classés dans les deux catégories précédentes);
- Géotechnique (mécanique des sols, hydraulique...);

- Transport (gestion des transports urbains);
- Divers (management, gestion de projets, informatique, histoire, urbanisme...).

Les projets d'architecture, quant à eux, furent répartis suivant leur nature dans la catégorie *Bâtiment* ou *Divers*. Ce classement vise uniquement à repérer les projets de génie civil et d'architecture qui sont directement associés au bâtiment. Les services liés au bâtiment, tels que la ventilation et le chauffage, bénéficient des apports du génie mécanique et du génie électrique et sont donc sous-représentés au profit de la structure et de l'enveloppe. Néanmoins, cette approximation de l'effort de recherche consacré spécifiquement au bâtiment livre des résultats dignes d'intérêt.

Ainsi, depuis une dizaine d'années, le total des octrois de recherche reçus annuellement en génie civil et en architecture oscille autour de 10 millions de dollars (graphique 7.1).

Les subventions de recherche au génie civil et à l'architecture



Un examen plus attentif de la période 1994-2000 nous indique que le secteur du bâtiment ne recueille que 11 % du total des octrois (tableau 7.1). La majeure partie des sommes allouées est dirigée vers les matériaux (30 %, essentiellement le béton) et vers la géotechnique (26 %). Ces travaux sont en grande partie liés aux ouvrages d'art, barrages, routes et ponts. La part des octrois attribués à l'architecture est négligeable et il semble que cette discipline soit véritablement sous-financée.

Part attribuée au secteur du bâtiment

Tableau 7.1
Répartition des octrois par sous-secteur du génie civil, 1994-2000

Secteur	Total des octrois (000 \$)	%
Matériaux	17 868	29
Géotechnique	14 693	25
Travaux de génie	11 090	19
Bâtiment	6 719	11
Structure	4 973	8
Transport	2 776	5
Divers	1 646	3

Source: Banque de données SIRU. Compilation du CST.

Le principal bailleur de fonds de la recherche est le gouvernement fédéral, bien que sa contribution ait tendance à baisser (tableau 7.2). Les autres contributeurs maintiennent une participation financière relativement stable.

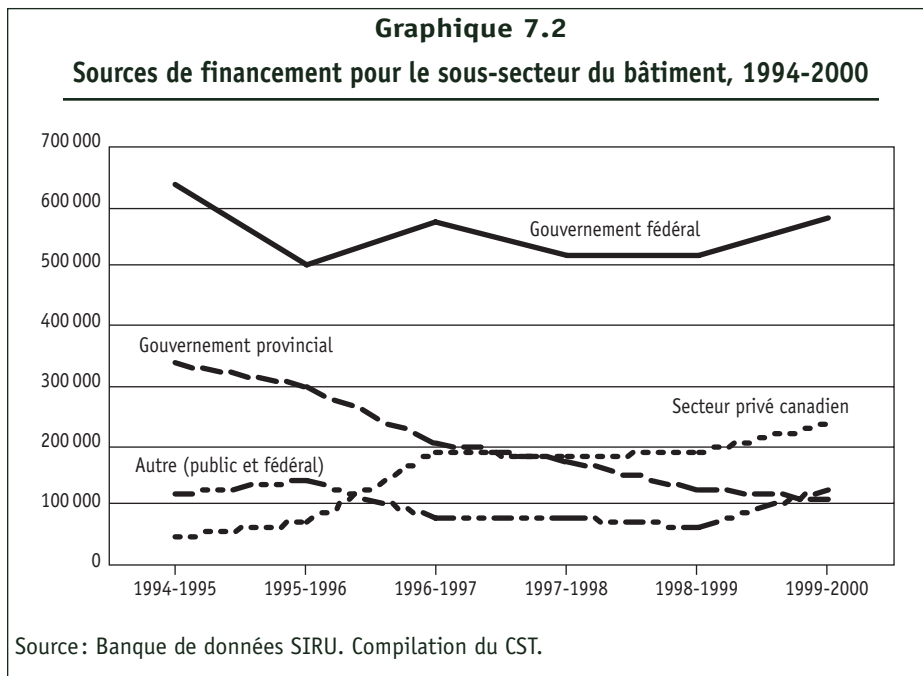
Tableau 7.2
Sources de financement pour le génie civil et l'architecture, 1994-2000 (000 \$)

Source	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000
Secteur privé canadien	1 389	1 185	1 396	1 169	1 594	1 400
Gouvernement fédéral	5 846	5 035	5 238	4 047	3 957	4 683
Gouvernement provincial	1 910	1 995	2 139	1 603	1 935	1 733
Autre (public et parapublic)	1 433	1 848	1 487	860	901	1 179
Établissements d'enseignement canadiens	366	349	239	214	278	366
Autre source canadienne	1		2	2		
Source étrangère	172	152	267	231	409	754
Total	11 118	10 564	10 769	8 126	9 074	10 115

Source: Banque de données SIRU. Compilation du CST.

Les octrois de recherche directement liés au secteur du bâtiment tel que nous l'avons défini demeurent stables depuis 1994, oscillant aux environs d'un million de dollars annuellement. On remarque cependant une progression continue du financement privé, qui passe de 44 000 \$ en 1994 à près de 240 000 \$ en 2000. Cependant cette augmentation est couplée à une diminution progressive du financement provincial, lequel est passé de 337 000 \$ en 1994 à 110 000 \$ en 2000 (graphique 7.2).

Le secteur privé s'implique de plus en plus en recherche



Le Centre d'études sur le bâtiment (Centre for Building Studies) de l'Université Concordia est le principal centre de recherche spécialisé en bâtiment au Québec. Il recueille près de 75 % des octrois de recherche sur le bâtiment recensés dans la banque SIRU. Les autres établissements d'enseignement actifs dans ce domaine sont l'Université de Montréal et l'Université Laval avec chacune 8 % des octrois et l'Université McGill et l'École de technologie supérieure avec 4 % dans chaque cas (tableau 7.3).

Le Québec dispose d'un centre d'étude spécialisé en bâtiment

Tableau 7.3
Répartition des octrois par université pour le sous-secteur du bâtiment,
1994-2000

Secteur	Total des octrois (000 \$)	%
Concordia	4 900	73
Laval	558	8
Montréal	520	8
McGill	299	4
École de technologie supérieure (ÉTS)	235	4
Polytechnique	132	2
Sherbrooke	75	1

Source: Banque de données SIRU. Compilation du CST.

Les principaux groupes et centres de recherche spécialisés dans le bâtiment

Le Centre d'études sur le bâtiment à l'Université Concordia

*L'Université
Concordia*

La mission du Centre d'études sur le bâtiment (CEB) est pluridisciplinaire et vise essentiellement à améliorer la performance du bâtiment au moyen des programmes de recherche et d'enseignement. Le CEB cherche notamment à définir le bâtiment du futur, qui englobe des considérations liées au design, à l'efficacité énergétique et à la santé. Le Centre a été fondé en 1977 et depuis 1997 il s'est joint au Département de génie civil. C'est le seul centre de recherche universitaire dont les activités sont entièrement consacrées au bâtiment au Canada. Le CEB poursuit trois objectifs :

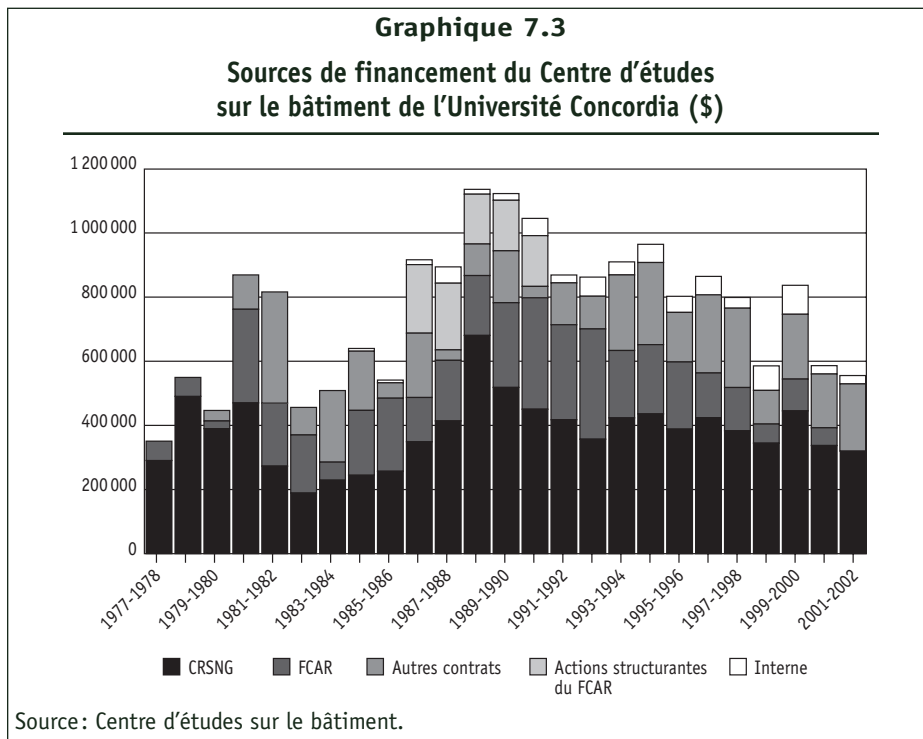
- définir les besoins de recherche dans l'industrie du bâtiment et réaliser la recherche fondamentale et appliquée qui en découle ;
- favoriser une collaboration multidisciplinaire en vue de faire avancer les connaissances sur le bâtiment ;
- documenter puis diffuser les résultats de recherche et interagir avec l'industrie et les gouvernements pour s'assurer de l'application rapide de ces résultats ; coopérer à la production de normes, de dispositions du Code du bâtiment et de brevets.

Le Centre compte actuellement 14 chercheurs qui ont accès à une douzaine de laboratoires spécialisés en acoustique, en aérodynamique, dans la qualité de l'air intérieur et l'éclairage, dans l'enveloppe du bâtiment, dans les matériaux, dans la conception assistée par ordinateur, etc. Il logera dans le nouveau complexe de l'ingénierie et de l'informatique actuellement en construction. Le Centre a défini huit axes de recherche : l'enveloppe ; la structure ; les services ; le design intégré et la CAO ; le management ; la qualité de l'environnement intérieur et les effets du vent sur le bâtiment.

Des axes de recherches variées et à la fine pointe des grandes tendances

Les principaux travaux récents portent sur la qualité de l'air intérieur, l'utilisation des TI en design, la gestion de projet et les systèmes de construction. Ces projets s'inscrivent donc tout à fait dans les grandes tendances décrites au chapitre 3 et le Centre jouit à cet égard d'une expertise unique¹. En ce moment, deux universités canadiennes seulement effectuent des recherches sur l'enveloppe du bâtiment, l'une étant Concordia avec le CEB. Et c'est uniquement à l'Université Concordia que les interactions entre les différents sous-systèmes, notamment la ventilation, le chauffage, l'enveloppe du bâtiment, etc., sont étudiées.

Il est à noter toutefois que le financement de ces projets (graphique 7.3) est en grande partie assuré par des subventions du gouvernement fédéral (59%), alors que la participation des entreprises n'est que de 7% et celle du gouvernement provincial de 12% seulement. La principale contribution industrielle provient d'un financement de Forintek dans des projets d'évaluation des systèmes de construction.



1. À la suite d'une entente avec l'université chinoise de Hunan, le CEB devrait recevoir une trentaine d'étudiants chinois de premier cycle en septembre 2003. Une série de projets de collaboration sont également en discussion.

Les écoles d'architecture

Université
de Montréal

Le GRCAO: Groupe de recherche en conception assistée par ordinateur (Université de Montréal)

Les travaux du GRCAO, fondé en 1992, sont orientés vers la recherche et le développement d'outils et de méthodes de travail basées sur les possibilités nouvelles qu'offre l'informatique. Les principaux champs d'études sont :

- la modélisation géométrique et la visualisation ;
- la modélisation et la simulation physique ;
- la modélisation des systèmes ;
- l'interface homme-machine et l'enseignement.

Le groupe constitue le noyau d'un programme de maîtrise en aménagement, option « Conception, modélisation et fabrication par ordinateur » (CMFAO), qui inclut la modélisation des bâtiments. Une dizaine de chercheurs et autant d'étudiants font partie des membres du groupe de recherche. Le GRCAO est également associé avec SGDL, une entreprise privée qui fournit le soutien logiciel. Issue d'un essaimage de l'Université de Montréal, SGDL se spécialise dans la représentation en 3D. L'entreprise participe notamment au STEP CAD/CAM Standard Committee.

Le GRIF: Groupe de recherche Industrialisation Forum (Université de Montréal)

Le GRIF est spécialisé en innovation technologique, en industrialisation du bâtiment et en veille technologique. Ce précurseur dans l'étude de l'industrialisation du bâtiment publiait dès le début des années 1970 des articles et des analyses sur les systèmes de construction et l'industrialisation du processus de construction, notamment au Japon. Le groupe compte quatre chercheurs, relevant tous de l'École d'architecture.

L'École d'architecture de l'Université McGill

Université McGill

L'École d'architecture de l'Université McGill a été fondée en 1896. Elle se distingue par ses programmes de formation et de recherche axés sur l'habitation qui en font l'un des principaux outils de R-D pour le secteur résidentiel au Québec. Le *Affordable Home Program*, mis sur pied en 1989, a pour objectif de former des architectes capables de concilier les besoins des acheteurs avec les possibilités des constructeurs de manière à favoriser l'accès à la propriété. La recherche menée dans le cadre de ce programme repose sur une stratégie de réduction des coûts dans une perspective de développement durable et s'articule autour de quatre aspects : un design flexible qui tient compte des besoins évolutifs des occupants ; l'industrialisation de la production d'habitations ; la réduction de la consommation de ressources et la planification du logement et des ensembles urbains. Cette stratégie est très proche du concept de « bâtiment

ouvert» (« *open building* » ; voir le chapitre 4) et a donné des résultats probants avec la réalisation de la Maison Évolutive (The Grow Home) et de la Maison Redécouverte (The Next Home) (voir l'encadré).

Le Minimum Cost Housing Group s'intéresse aux problèmes de logement dans les pays en développement. Les principaux champs d'intérêt du groupe incluent les méthodes de production massive de logements et l'élaboration d'outils de design pour de grandes communautés.

Le projet *Medicine by Design*, financé par les Instituts de recherche en santé du Canada, a pour objectif d'étudier les relations qui existent entre l'architecture des hôpitaux et les nouveaux besoins en matière de soins de santé. Le projet s'intéresse également aux changements qui affecteront le logement dans un contexte de soins à domicile.

Autres écoles

D'autres écoles d'architecture et d'aménagement mènent des recherches dans le domaine de l'urbanisme pour tenir compte du patrimoine bâti. Signalons l'École d'architecture de l'Université Laval avec ses groupes de recherche CRAD et « Banlieue revisitée », l'INRS-Urbanisation et Société ainsi que le groupe CRISES des Hautes Études commerciales, spécialisé dans la revitalisation des domaines urbains, qui a effectué des travaux sur le technopôle Angus. Notons également la Chaire UQAM-SITQ Immobilier de l'Université du Québec à Montréal, qui forme des évaluateurs et des gestionnaires immobiliers.

Les autres écoles

Les départements de génie civil

La grande majorité des travaux de recherche menés dans les départements de génie civil sont orientés vers les matériaux et la géotechnique, principalement dans une optique de construction et de réfection d'infrastructures de génie civil. Le Québec dispose ainsi d'une expertise enviable dans le domaine du béton par l'intermédiaire du Centre de recherche interuniversitaire sur le béton (CRIB) et dans celui de la mécanique des sols et de l'hydraulique.

Certains groupes de recherche, en structure particulièrement, consacrent une partie de leurs activités au bâtiment. Le Groupe de recherche en génie parasismique (Groupe Épicentre) du Département de génie civil de l'École polytechnique a pour objectif principal de contribuer à l'effort global de recherche et de développement en vue d'assurer au Canada, et au Québec surtout, des ouvrages de génie civil ayant un degré de sécurité adéquat, à un coût raisonnable, dans l'éventualité de séismes majeurs. Le groupe compte cinq chercheurs permanents ainsi que treize membres associés en provenance d'autres universités et de l'industrie privée. Il dispose en outre d'un laboratoire équipé d'un simulateur sismique permettant des tests expérimentaux qui viennent compléter les modèles numériques. Le centre a notamment développé une expertise dans la stabilité des bâtiments pendant les séismes et dans le renforcement sismique des bâtiments.

*L'École
polytechnique*

*L'Université
de Sherbrooke*

Le Centre de recherche en génie parasismique de l'Université de Sherbrooke est un autre groupe de recherche spécialisé en sismique. Ses travaux portent principalement sur la modélisation du comportement des structures et sur des essais dynamiques réalisés à partir d'un mur de réaction, une installation unique au Québec qui permet de soumettre une structure d'une hauteur de deux étages à des charges latérales. Le centre compte trois chercheurs permanents.

*L'École
de technologie
supérieure*

L'École de technologie supérieure (ÉTS) offre un programme de génie de la construction à l'intérieur duquel un volet de recherche sur la gestion de projets a été mis en place. L'industrialisation du processus de construction fait également partie de l'expertise développée à l'ÉTS.

La Maison Redécouverte

La Maison Redécouverte (The Next Home) est une réponse architecturale aux changements sociodémographiques qui sont survenus au cours des dernières années : réduction de la taille des familles et des ménages, vieillissement de la population, etc. Ces changements ont conduit à une modification de la demande en logements en faveur d'une taille réduite et d'une densité accrue. Le prototype de la Maison Redécouverte a été lancé en 1996.

Les préoccupations d'accessibilité et surtout de flexibilité s'inscrivent dans une tradition architecturale qui trouve sa plus récente expression dans le concept de bâtiment ouvert (*open building*). Cette tradition est plus présente en Europe qu'en Amérique du Nord et les projets qui en découlent ont bénéficié d'un soutien gouvernemental sans équivalent au Canada ou aux États-Unis.

La Maison Redécouverte est une structure de trois étages qui peut être achetée par niveaux pour former une maison individuelle, un duplex ou un triplex. Sa façade étroite permet de densifier l'aménagement urbain. La conception de l'aménagement intérieur se fait à partir d'un catalogue d'éléments divers qui permet une souplesse lors des modifications. Les possibilités d'exportation sont également caractéristiques de ce type de logement.

La Maison Redécouverte fait suite au projet Maison Évolutive (The Grow Home) lancé en 1989 et dont plus de 5 000 unités ont été construites dans la région de Montréal. La Maison Évolutive cherchait à réduire les coûts de construction d'une maison en réduisant sa taille, la dimension des terrains ainsi que les frais généraux et les frais de commercialisation.

Les travaux d'Avi Friedman, qui lui ont valu notamment le prix J. Armand-Bombardier de l'ACFAS pour l'innovation technologique en 1998, sont un exemple des succès qu'une approche de la recherche intégrée aux conditions du marché peut obtenir.

La recherche publique

Le gouvernement fédéral

Le CNRC, par l'intermédiaire de l'IRC et du programme PARI, est le principal intervenant en recherche. Ressources naturelles Canada ainsi que la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) sont également actifs, principalement dans le domaine de l'efficacité énergétique et de la qualité de l'air dans les maisons.

Le tableau 7.4 montre qu'au total environ 42 millions de dollars furent investis en 2000 par le gouvernement fédéral en recherche et diffusion d'informations afin de stimuler l'innovation dans le secteur du bâtiment au Canada. Compte tenu de l'importance économique du secteur de la construction, il s'agit là d'un montant très modeste. En somme, le gouvernement fédéral ne s'est pas démarqué sur le plan de la recherche et du transfert technologique par rapport aux autres pays dans le domaine de la construction. Si l'on ajoute à ces montants les subventions de recherche accordées aux universités par l'intermédiaire du CRSNG dans le secteur de la construction, le gouvernement fédéral est tout de même un joueur essentiel en recherche dans ce domaine au Canada. De plus, comme c'est lui qui en pratique définit les codes du bâtiment, même si ces codes sont de compétence provinciale, son influence est tout à fait prépondérante sur ce secteur.

L'Institut de recherche en construction

L'Institut de recherche en construction (IRC) a réparti ses activités en cinq grands domaines : enveloppe et structure du bâtiment, gestion des risques d'incendie, réhabilitation des infrastructures urbaines, environnement intérieur et, enfin, codes et évaluation des matériaux.

L'IRC cherche à mettre au point des technologies de conception, de construction et d'entretien de systèmes de bâtiments durables, efficaces sur le plan énergétique et économiques, cela tant pour les bâtiments neufs que pour la rénovation. Dans la gestion des incendies, les programmes de recherche prioritaires portent sur la modélisation des incendies, le mouvement de la fumée et le développement de technologies relatives à la détection des incendies. Dans la réhabilitation des infrastructures urbaines, l'IRC vise à élaborer des techniques efficaces et économiques de construction, d'évaluation et de réparation des infrastructures municipales. Dans le cadre de son programme sur l'environnement intérieur, l'IRC se penche sur différents éléments, tels que l'éclairage, l'acoustique, la température, la ventilation et la qualité de l'air afin de déterminer leurs effets individuels et combinés sur le bien-être des occupants. Le Centre canadien des codes, qui fait partie de l'IRC, apporte son soutien à la Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies qui est responsable de l'élaboration des codes du bâtiment. L'IRC publie des commentaires et des guides pour aider les

*Un investissement
relativement
modeste
du gouvernement
fédéral*

*Cinq grands
domaines d'activité
de l'IRC*

différents intervenants à comprendre et à appliquer les codes. Enfin, l'IRC, par l'entremise du Centre canadien de matériaux de construction, évalue les nouveaux matériaux et systèmes, souvent en fonction des normes et des codes.

Tableau 7.4
Interventions du gouvernement fédéral en recherche et innovation sur le bâtiment

Moyens		Montants en M\$	Objectifs
Institut de recherche en construction	20 (10 en recherche, 5 en évaluation des matériaux et 5 pour les codes)	Agir en tant que centre technologique, concevoir des méthodes d'évaluation des nouveaux produits, élaborer des codes modèles pour le bâtiment.	Effectuer des projets de recherche en collaboration avec les entreprises, diffuser de l'information, tester de nouveaux matériaux et produits et diffuser les résultats, élaborer des codes modèles à partir de la meilleure information disponible.
PARI	3	Soutenir le développement technologique des PME.	Fournir des conseils et de l'aide financière aux PME dans la mise en œuvre de projets technologiques.
Travaux publics	6	Stimuler la R-D liée à la gestion immobilière.	Effectuer et subventionner la R-D en efficacité énergétique, en gestion des immeubles, en longévité des édifices et en contrôle de la pollution.
Société canadienne d'hypothèques et de logement	3	S'assurer de l'efficacité du système de prêts hypothécaires résidentiels et maintenir la qualité de l'habitation.	Subventionner des projets de recherche et diffuser de l'information afin d'améliorer les habitations et favoriser les exportations de produits relatifs à l'habitation ainsi que l'expertise à cet égard.
Ressources naturelles	10	Stimuler l'efficacité énergétique dans les systèmes et les produits du bâtiment.	Effectuer des projets de recherche et fournir des subventions en efficacité énergétique.

Source : A. Manseau et A. Bellamy, « Canadian public policy instruments that affect innovation in construction », dans A. Manseau et G. Seaden (dir.), *Innovation in Construction: An International Review of Public Policies*, 2001.

L'IRC a recours à plusieurs moyens pour diffuser l'information relative aux résultats de ses recherches ainsi qu'aux codes du bâtiment : consortiums et partenariats de recherche, publications techniques, bulletins d'information, colloques, Internet. Les conseillers du PARI, en particulier les architectes, sont bien au fait des activités de l'IRC et diffusent de l'information auprès des PME. De plus, l'IRC aide les entreprises canadiennes désireuses d'exporter en les renseignant sur les normes et les codes du bâtiment étrangers. En vertu d'ententes avec des organismes étrangers similaires, le Centre canadien de matériaux de construction réalise des évaluations de produits afin de déterminer leur conformité aux codes des pays visés par les entreprises exportatrices.

En partenariat avec la SCHL et le ministère des Ressources naturelles, l'IRC a construit deux maisons visant la démonstration de nouvelles technologies. Ces maisons servent notamment de vitrine technologique aux visiteurs étrangers. Les fabricants canadiens sont invités à participer à la construction d'autres maisons expérimentales.

L'IRC va publier un guide technique national des infrastructures municipales qui sera un recueil des meilleures pratiques en matière de construction, d'entretien et de réhabilitation d'infrastructures comme les égouts, les routes, les trottoirs, les ponts et les viaducs.

L'IRC est très au fait des activités des autres centres de recherche publics équivalents dans le monde. Par exemple, il est bien présent dans les activités du Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), un organisme international regroupant tous les centres de recherche publics analogues à l'IRC.

La Société canadienne d'hypothèques et de logement

La SCHL consacre annuellement environ deux millions en recherches commanditées et un million en diffusion d'informations sur le bâtiment résidentiel. C'est ainsi qu'en 2001 près de 700 000 \$ ont été consacrés à la recherche sur le concept de maison saine, concept axé sur la création de maisons abordables, salubres et respectueuses de l'environnement. Au cours des dernières années, la qualité de l'air intérieur ainsi que l'efficacité énergétique ont été des secteurs de recherche privilégiés par la SCHL qui a organisé plusieurs séminaires à cet effet.

La SCHL joue un rôle majeur pour ce qui est de la diffusion d'informations non seulement sur l'état du marché résidentiel, mais également sur les innovations technologiques dans le secteur résidentiel. De plus, la SCHL publie de nombreux documents visant le grand public ainsi que les PME sur une multitude de sujets dont plusieurs sont liés aux rénovations.

On peut cependant se demander si le montant de 2 millions de dollars consacré à la recherche commanditée est suffisant, étant donné les besoins immenses de recherche dans le domaine de l'habitation et le peu de recherche effectué par les universités canadiennes.

*La qualité de l'air
et l'efficacité
énergétique
au programme
de la SCHL*

Le gouvernement du Québec

Au Québec, la plupart des organismes publics présents dans le secteur de la construction se consacrent à l'application de la réglementation encadrant le secteur. Ils sont assez peu actifs sur le plan du soutien ou de la promotion de l'innovation technologique, cet aspect ne faisant pas partie de leur mandat.

La Régie du bâtiment du Québec

La Régie du bâtiment du Québec (RBQ) est responsable de l'application de la Loi sur le bâtiment qui a pour objet d'assurer la qualité de construction des bâtiments et la sécurité des personnes qui y circulent. Elle régit le Code de la construction, qui s'applique aux bâtiments publics et aux copropriétés résidentielles de plus de deux étages et de plus de huit logements. La Régie délivre également des licences attestant la qualification des entrepreneurs en construction et procède à des inspections des bâtiments visés par la loi de manière à en vérifier la conformité.

La Commission de la construction du Québec

La Commission de la construction du Québec (CCQ) a pour principale responsabilité de veiller à l'application de la Loi sur les relations du travail dans l'industrie de la construction. Elle s'assure par des inspections sur les chantiers du respect des conditions de travail prévues dans la loi. La CCQ est également mandatée pour garantir la compétence de la main-d'œuvre et l'application des lois et règlements se rapportant à l'embauche et à la mobilité de la main-d'œuvre. Elle maintient également des bases de données importantes sur le marché du travail et son évolution. La surveillance des normes de sécurité, qui a déjà fait partie de son mandat, relève maintenant de la Commission de la santé et sécurité au travail (CSST).

La Société immobilière et la Corporation d'hébergement du Québec

La Société immobilière du Québec (SIQ) est responsable du parc immobilier du gouvernement du Québec, alors que la Corporation d'hébergement du Québec (CHQ) exerce la même fonction pour le réseau de la santé et des services sociaux. Ces organismes ont pour mandat d'effectuer des travaux de réfection ou de construction au meilleur rapport qualité-prix possible et la règle du plus bas soumissionnaire s'applique pour la réalisation des travaux de construction. La SIQ dispose par ailleurs d'une réelle expertise avec ses 50 ingénieurs et ses 40 architectes pour mener des activités de veille technologique et assumer la gestion des travaux sur le chantier. Elle a d'ailleurs instauré une procédure d'appel d'offres pour les architectes et les ingénieurs qui lui permet d'accorder plus d'importance à la qualité des soumissions. Le savoir-faire acquis lors des projets menés par la SIQ peut être alors transposé à d'autres projets. Avec 800 millions de dollars de dépenses annuelles dans environ 600 projets, la SIQ possède un parc immobilier varié qui pourrait servir de laboratoire à d'éventuels projets de recherche. La CHQ est pour sa part en voie de se doter d'un système d'information sur son parc immobilier et elle privilégie une approche fondée sur le cycle de vie des bâtiments.

La Société d'habitation du Québec (SHQ) participe à l'élaboration de la politique d'habitation du Québec et à la gestion des programmes liés à l'habitation. La Société s'est donné une politique de recherche visant à soutenir la prise de décision à l'intérieur de l'organisme. Elle finance des projets de recherche qui sont de nature socioéconomique plutôt que technique. La SHQ a par exemple constitué une base de données sur la rénovation résidentielle qu'elle exploite de façon à mieux comprendre les habitudes des rénovateurs. Elle a collaboré à l'occasion avec des universitaires au développement de produits nouveaux, la Maison Redécouverte par exemple. La SHQ gère également un programme d'aide à l'exportation qui dispose d'une enveloppe de 700 000 \$.

*La Société
d'habitation
du Québec*

L'Institut de recherche en santé et sécurité du travail (IRSST) mène des travaux de recherche sur des sujets qui relèvent de la Commission de la santé et de la sécurité au travail (CSST). L'Institut effectue des travaux de recherche en prévention des accidents et des maladies professionnelles qui portent sur le secteur de la construction.

Le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) offre des programmes d'essai et de certification de matériaux de construction. Sa direction de l'automatisation reste toutefois peu présente dans le secteur de la préfabrication de composants de bâtiments.

L'industrie privée et les autres organismes sans but lucratif

La recherche-développement constitue généralement un bon indicateur de la capacité d'innovation d'un secteur. Partout dans le monde, le secteur de la construction a traditionnellement toujours peu investi en R-D. Même au Japon, le pays où les entreprises du secteur de la construction investissent le plus en R-D, ce n'est que 0,5 % de la valeur ajoutée qui est investie en recherche-développement (graphique 7.4). On est donc très loin de secteurs comme l'aéronautique et le pharmaceutique où les entreprises consacrent souvent jusqu'à 20 % de la valeur ajoutée à la R-D.

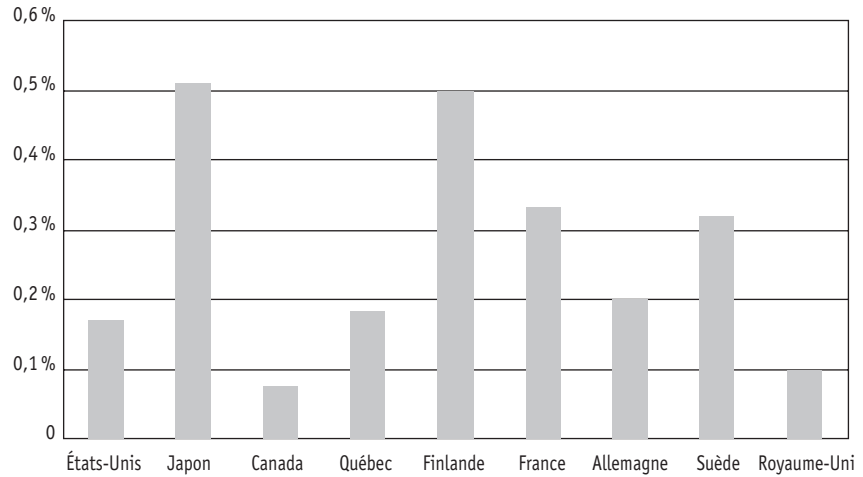
*Traditionnellement,
l'entreprise privée a
peu investi en R-D*

Depuis quelques années, on assiste à une intensification des efforts de recherche dans la plupart des pays à l'exception du Royaume-Uni et du Canada. Les pays nordiques et la France se rapprochent du Japon. On assiste également à une forte poussée de la recherche aux États-Unis où les dépenses des firmes en construction ont plus que doublé en l'espace de trois ans, soit de 1996 à 1999, passant de 283 millions de dollars US à 699 millions. Certes, en pourcentage de la valeur ajoutée, soit 0,17 % en 1999, ces dépenses demeurent faibles, mais elles ont tout de même doublé puisqu'elles ne représentaient que 0,09 % de la valeur ajoutée en 1996 (graphique 7.5).

*On assiste à
une croissance des
investissements
dans la plupart
des pays, sauf
au Canada et
au Royaume-Uni*

Graphique 7.4

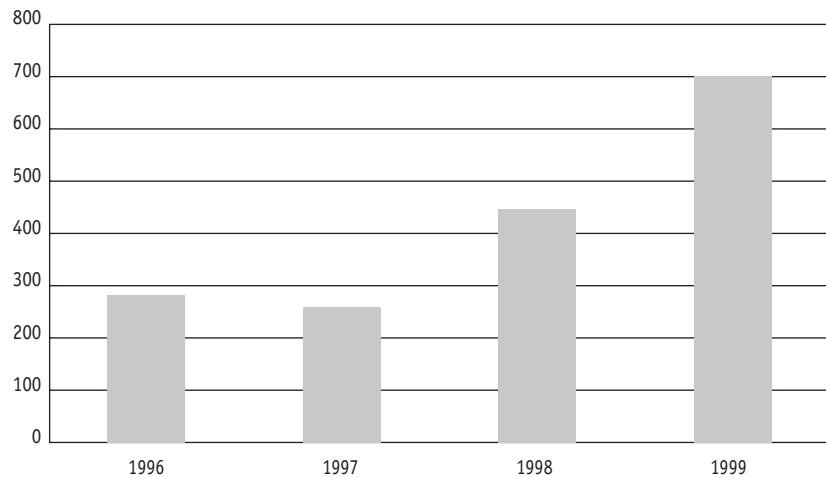
Dépenses en recherche-développement en pourcentage de la valeur ajoutée des entreprises du secteur de la construction, divers pays, 1999



Source : OCDE et Statistique Canada pour le Canada et le Québec.

Graphique 7.5

Dépenses en recherche-développement des entreprises du secteur de la construction aux États-Unis, en millions de \$ US



Source : OCDE.

Les données canadiennes récentes portant sur les années 2000 à 2001 indiquent que le ratio R-D sur valeur ajoutée serait toujours inférieur à 0,1 %. En somme, on peut s'interroger sur le fait qu'un phénomène de fond, à savoir une intensification des efforts de recherche, serait en train d'émerger dans la plupart des pays, et que les entreprises canadiennes n'y réagiraient pas.

Quant au Québec, sa position est meilleure, mais les entreprises québécoises ont encore beaucoup de chemin à faire avant de rejoindre leurs consœurs japonaises, françaises ou des pays nordiques. Il n'a pas été possible d'obtenir d'informations sur les firmes québécoises du secteur de la construction qui effectuent de la recherche, étant donné que les données obtenues à partir de l'Enquête de Statistique Canada sont confidentielles.

Cependant, des efforts de recherche substantiels sont faits au Québec par les entreprises fournisseurs de matériaux, en particulier dans le secteur du bois et de l'acier. Le Groupe Canam-Manac est l'un des principaux exécutants de la R-D avec des dépenses totales de 3,1 millions de dollars en 2001. La majeure partie de ces investissements servent à l'amélioration des logiciels de conception de structures métalliques².

Forintek est le principal centre de recherche en technologie du bois au Canada. Il comprend deux laboratoires, l'un situé en Colombie-Britannique et l'autre à Québec. Son financement de 23 millions de dollars en 2002 lui vient à 60 % des gouvernements et de l'industrie, les autres 40 % étant obtenus par des contrats. La recherche se répartit en six grands volets : évaluation de la ressource, transformation et sciage, séchage, protection, matériaux composites, de même qu'un volet sur les systèmes constructifs qui reçoit environ 20 % du budget total de recherche. Les entreprises de première transformation participent très activement à l'élaboration des projets, par l'intermédiaire de comités consultatifs. Ce n'est pas le cas des entreprises de composants de systèmes constructifs en bois étant donné qu'elles sont rares au Canada. De plus, puisqu'il n'existe pas de programme d'aide gouvernementale propre au développement de systèmes constructifs, comme le programme PATH aux États-Unis, Forintek doit supporter seul l'élaboration de ces systèmes. Forintek offre par ailleurs des services d'essai de matériaux.

Le groupe Contech, un organisme sans but lucratif dont la principale source de financement est l'industrie, a pour mission principale de favoriser le réseautage d'entreprises du secteur de la construction. Contech organise les expositions « Salon du bâtiment » partout au Québec dans le but de faire la promotion de produits québécois auprès des clients industriels et commerciaux (International Facility Management Association, entrepreneurs en construction, ACQ, universités, gouvernement...). Huit expositions ont lieu annuellement, les plus importantes se tenant à Montréal et à Québec. Contech organise deux activités spécifiquement axées sur la promotion de l'innovation : en collaboration avec le ministère des

*Une position
meilleure au Québec
mais tout de même
limitée*

*Forintek,
le principal centre
de recherche en
technologie du bois
au Canada*

*Le groupe Contech
favorise
le réseautage
d'entreprises*

2. Groupe Canam-Manac, *Rapport annuel*, 2001.

Finances, de l'Économie et de la Recherche (MFER), la remise d'un trophée pour le produit québécois le plus innovateur et l'organisation des Carrefours de l'invention. Ces carrefours permettent de mettre en contact des concepteurs de projets, qui en sont à l'étape de la précommercialisation, avec les représentants du marché.

Le CEBQ facilite la diffusion et le transport de technologies

Le Conseil de l'enveloppe du bâtiment du Québec (CEBQ) est un organisme sans but lucratif fondé en 1989 et dont l'objectif principal est de faciliter la discussion et le transfert de technologies liées à l'enveloppe du bâtiment. Le CEBQ compte près de 500 membres actifs, répartis comme suit : 39 % sont des architectes ; 32 % sont des manufacturiers de produits de construction ; 23 % sont des ingénieurs et 6 % sont des entrepreneurs et des chercheurs. Le CEBQ organise neuf conférences annuellement et publie des monographies spécialisées dans son champ de compétence.

Le CERACQ jette un regard sur l'avenir de l'industrie

Mentionnons enfin l'existence du Centre d'études et de recherche pour l'avancement de la construction au Québec (CERACQ), qui s'est donné comme mission d'articuler une réflexion sur toutes les questions conditionnant l'avenir de cette industrie, qu'elles soient d'ordre économique, fiscal, juridique ou technique. Le CERACQ s'intéresse notamment à l'innovation.

7.2 Les ressources humaines

Dans cette section, nous traçons un bref portrait de la main-d'œuvre professionnelle en nous attachant plus particulièrement à sa formation et à sa disponibilité. Nous examinons également les effets de la réglementation de l'industrie sur la formation de la main-d'œuvre et la productivité de l'industrie.

La main-d'œuvre professionnelle

Disponibilité de la main-d'œuvre

Un roulement élevé de la main-d'œuvre au Québec

La disponibilité de la main-d'œuvre professionnelle est fonction du nombre de personnes qui entrent et qui sortent du secteur de la construction. Le roulement de la main-d'œuvre est relativement élevé au Québec.

En 2001, il y a eu plus de 15 000 entrées et un peu moins de 14 000 départs, pour une entrée nette de 1 213 travailleurs. Entre 1999 et 2001, les entrées et les départs ont représenté entre 13 % et 18 % de l'ensemble des salariés. Le roulement élevé est sans aucun doute lié au fait que le travail est à la fois cyclique et saisonnier, de sorte qu'il est difficile pour la main-d'œuvre d'y obtenir un revenu régulier et surtout prévisible. De plus, les conditions de travail dans certains cas sont pénibles. En fait, ce secteur a tout un défi à relever pour attirer, former et conserver une main-d'œuvre de qualité (tableau 7.5).

Cette situation n'est pas propre au Québec. Dans tous les pays du monde, les pénuries réelles ou appréhendées de main-d'œuvre sont sans cesse signalées. Dans certains pays, on se plaint également du fait que la qualité de la main-d'œuvre laisse parfois à désirer. Il est difficile d'attirer les jeunes vers la construction étant donné la nature cyclique du travail et l'image négative de cette industrie auprès de ces derniers.

*Une situation
similaire dans tous
les pays du monde*

La moyenne annuelle d'heures travaillées rapportées à la CCQ est inférieure à 1 000 heures, alors que la norme pour un travailleur québécois type salarié à temps plein est de 1 850. Même en excluant les travailleurs irréguliers qui ne font qu'une moyenne de 500 heures par année, on obtient environ 1 100 heures pour les travailleurs réguliers. Par contre, les travailleurs expérimentés et qualifiés travaillent en moyenne 1 200 heures. Ils peuvent alors obtenir un revenu annuel de plus de 50 000 \$. Un jeune qui entre dans ce secteur doit persévérer plusieurs années pour se qualifier complètement et obtenir ce niveau de revenu. En fait, c'est là que réside un premier défi du secteur ; conserver sa main-d'œuvre en dépit de l'instabilité du volume de travail et des conditions difficiles qui y prévalent parfois.

L'âge moyen des salariés a augmenté au cours des années 1990. Celui d'un compagnon (soit les travailleurs les plus qualifiés) est passé de 42,1 ans à 45 ans entre 1992 et 2000 (tableau 7.6). Par contre, on note un rajeunissement des apprentis, ce qui devrait se refléter sur l'âge moyen de l'ensemble des salariés au cours des prochaines années. On note également au tableau 7.7 que le nombre de salariés de plus de 45 ans a diminué entre 1992 et 2001, alors que c'est dans le groupe des 35-44 ans que le nombre a le plus augmenté. La main-d'œuvre est donc vieillissante, mais sa plus grande part est dans la force de l'âge. Le Québec dispose donc actuellement d'une main-d'œuvre très expérimentée et par conséquent très productive, mais dont la relève pose un défi.

*Une main-d'œuvre
dans la force
de l'âge mais
vieillissante*

En fait, le vieillissement de la main-d'œuvre au cours des années 1990 est attribuable au manque de travail. Les employeurs ont préféré ne retenir que leurs employés les plus expérimentés pendant que les jeunes diplômés, sans expérience, avaient de la difficulté à se faire embaucher même si le secteur leur était théoriquement ouvert. En effet, pour accéder au secteur, un futur apprenti doit avoir un certificat de compétence qui lui est délivré à condition qu'il ait suivi avec succès une formation dans un métier spécifique et qu'un employeur lui garantisse 150 heures de travail. Mais individu qui ne possède pas cette formation peut accéder à un métier lorsque moins de 5 % des travailleurs titulaires d'un certificat de qualification dans un métier sont sans emploi. L'ouverture se fait sur une base régionale. Devant le manque de travail qui a perduré durant la majeure partie des années 1990, les jeunes ont préféré se diriger vers une formation professionnelle ou technique qui leur offrait de meilleures possibilités d'emploi.

Tableau 7.5
Roulement de la main-d'œuvre, 1999-2001

	1999	2000	2001
Salariés actifs	94 056	98 011	99 224
Entrées	17 361	16 716	15 104
En % des actifs	18,5 %	17,1 %	15,2 %
Salariés actifs pour la première fois	8 320	8 949	8 276
Retours après une période d'inactivité	9 041	7 767	6 828
Départs			
Salariés actifs l'année précédente mais devenus inactifs	11 529	12 761	13 891
En % des actifs de l'année précédente	13,1 %	13,6 %	14,2 %
Entrées nettes	5 832	3 955	1 213

Source: Commission de la construction du Québec, *L'industrie de la construction en 2001, Annexe statistique*, juin 2002.

Tableau 7.6
Âge moyen des salariés selon le statut professionnel, 1992-2001

	1992	1994	1997	1998	1999	2000	2001
Apprenti	29,1	30,1	31,1	31,1	31,1	32,0	31,1
Compagnon	42,1	42,1	43,1	44,0	44,1	45,0	45,0
Occupation	38,0	40,1	41,0	41,0	41,0	40,1	41,0
Total	38,1	39,1	40,1	41,0	40,1	40,1	40,1

Source: CCQ, *op. cit.*

Depuis quelques années, la situation économique favorable incite les jeunes à choisir un métier de la construction

La reprise de l'activité économique amorcée il y a deux ou trois ans dans le secteur a cependant incité plusieurs jeunes à s'inscrire à l'apprentissage d'un métier de la construction, sans compter que la porte est maintenant largement ouverte à la main-d'œuvre qui ne possède pas de certificat de compétence. En effet, seulement de janvier à juillet 2002, plus de 3 000 travailleurs sans diplôme ont accédé à l'un des métiers de la construction comparativement à 2 000 pour la même période en 2001³. Ces personnes seront invitées à suivre une formation si elles désirent demeurer dans le secteur.

3. Voir « La construction aura besoin de 15 000 apprentis d'ici 2005 », *Les Affaires*, 7 septembre 2002.

Tableau 7.7
Nombre de salariés selon le groupe d'âge, 1992-2001

	1992	1994	1997	1998	1999	2000	2001
Moins de 24 ans	9 642	5 346	4 956	5 711	7 238	8 599	9 410
25 à 34 ans	30 662	23 017	21 528	20 871	20 891	20 850	20 695
35 à 44 ans	27 811	24 151	26 971	28 124	30 128	31 079	31 023
45 ans et plus	50 090	56 354	31 800	33 518	35 799	37 483	38 096

Source: CCQ, *op. cit.*

Réglementation sur le plan de la formation

Le secteur de la construction est un secteur très réglementé. Il est encadré par la Loi sur les relations de travail, la formation professionnelle et la gestion de la main-d'œuvre dans l'industrie de la construction, dite loi R-20. C'est la CCQ qui est chargée de veiller à l'application de cette loi⁴.

Le système actuel de qualification exige qu'une personne suive d'abord une formation dans l'un des 26 métiers reconnus pour accéder aux chantiers, sauf dans les cas déclarés de pénurie de main-d'œuvre. Cette personne est alors qualifiée d'apprenti pour une période qui s'étend de 2 000 heures à 6 000 heures selon les métiers. Après la réussite à un examen visant à mesurer sa maîtrise du métier, l'apprenti devient un compagnon.

La formation est donnée par les centres et écoles de formation professionnelle dans une vingtaine de commissions scolaires réparties sur l'ensemble du territoire. La responsabilité de la formation a été accordée à l'industrie au moment de la création de la CCQ. Cette dernière regroupe l'ensemble des associations patronales et syndicales sur une base paritaire. Elle a mis sur pied le Comité sur la formation professionnelle dans l'industrie de la construction, qui chapeaute 26 sous-comités professionnels et 9 sous-comités régionaux. Ces sous-comités font donc un suivi attentif des besoins de formation pour chacun des métiers et adressent des recommandations au Comité. La CCQ conclut des ententes avec les commissions scolaires pour la formation, en consultation avec le ministère de l'Éducation (MEQ). La formule garantit que la formation colle directement aux besoins de l'industrie et que l'évolution technologique est prise en compte dans les cours proposés.

*Un secteur très
réglementé,
favorisant une
main-d'œuvre
compétente*

4. La constitutionnalité de la loi R-20 fut récemment contestée devant les tribunaux. Selon l'appelant, l'obligation de détenir un certificat de compétence pour travailler dans le secteur de la construction revenait à imposer le syndicalisme dans ce secteur, ce qui allait à l'encontre de la Charte canadienne des droits et libertés. En octobre 2001, la Cour suprême du Canada a statué que cette loi entraînait seulement une atteinte minimale aux droits fondamentaux et que ses avantages l'emportaient manifestement sur les inconvénients. Elle a donc déclaré constitutionnelle la loi R-20.

Il faut d'ailleurs souligner que c'est à l'initiative des syndicats de la construction que la première école de métier fut implantée à Montréal dans les années 1940. Jusqu'en 1960, l'industrie elle-même faisait passer les examens de qualification et donnait les cours de perfectionnement et de recyclage. Par la suite, les écoles polyvalentes ont pris le relais. L'industrie s'est alors retrouvée avec une pénurie de travailleurs qualifiés et a dénoncé l'écart entre les besoins et la formation donnée. Le gouvernement a réagi en 1987 avec la loi 119 qui définit un partenariat entre la CCQ et le MEQ. Grâce à cette loi, le milieu de la construction participe directement à la validation des programmes d'étude ainsi qu'à la gestion des centres voués à la formation. Il existe donc une forte synergie entre tous les acteurs, c'est-à-dire les commissions scolaires, les associations patronales et les associations syndicales.

Étant donné l'arrivée massive d'une main-d'œuvre non formée au cours des deux dernières années, la CCQ examine actuellement la possibilité d'instituer un système d'alternance travail-études dans environ 50 % à 60 % des métiers. Cela nécessiterait la signature de contrats avec de grandes entreprises et la participation active des centres de formation.

Les données du tableau 7.8 indiquent clairement que l'amélioration notable du marché du travail dans le secteur de la construction au cours des dernières années a eu pour effet d'inciter plusieurs personnes à s'inscrire dans des cours de formation pour les différents métiers. En 2000, le nombre de nouveaux apprentis actifs était de près de 87 % supérieur à la moyenne des années 1995 à 1999. On observe une hausse substantielle dans pratiquement tous les métiers.

En résumé, le système actuel est donc fortement réglementé, mais il garantit que la main-d'œuvre sur les chantiers de construction est compétente. De plus, le système est suffisamment souple et les partenariats efficaces pour permettre au réseau de l'éducation de répondre aux besoins de l'industrie.

La formation permanente et le recyclage de la main-d'œuvre

Des activités de formation bien structurées

En 1992, le Décret de la construction a été modifié afin de créer le Fonds de formation pour le perfectionnement et le recyclage des travailleurs. Le financement de ce fonds est assuré par l'imposition d'une taxe sur la masse salariale de 0,20\$ par heure travaillée. Toutes les entreprises sont tenues de verser la taxe. Cependant, en 1993 l'APCHQ a contesté la validité du Fonds de formation, ce qui a donné lieu à une ordonnance de la Cour qui a bloqué les sorties de fonds. Par contre, les employeurs étaient tenus de continuer à verser leurs cotisations. Le litige s'est réglé en 1997. Deux fonds distincts ont alors été créés, l'un pour les secteurs institutionnel, commercial, industriel et du génie civil, soit le Fonds de formation de l'industrie de la construction (FFIC), et un autre pour le secteur résidentiel, le Plan de formation des travailleurs du secteur résidentiel. Le FFIC a lancé officiellement ses activités en 1999. Du fait qu'il n'y a pas eu de débours de fonds jusqu'en 1999, le Fonds a pu accumuler un

Tableau 7.8
Nouveaux apprentis actifs dans le secteur de la construction
selon le métier, 1995-2000

	Moyenne annuelle 1995-1999	2000	Variation en %
Briqueur-maçon	109	214	96,3
Calorifugeur	24	58	141,7
Carreleur	48	82	78,3
Charpentier-menuisier	837	1475	76,2
Chaudronnier	15	61	306,7
Cimentier-applicateur	56	133	137,5
Couvreur	209	289	38,3
Électricien	445	730	66,0
Ferblantier	117	240	105,1
Ferrailleur	19	57	200,0
Grutier	6	19	216,7
Mécanicien industriel de chantier	25	86	244,0
Monteur d'acier de structure	51	182	256,9
Opérateur d'équipement lourd	78	110	41,0
Opérateur de pelles mécaniques	34	55	61,8
Peintre	189	331	75,1
Plâtrier	67	132	97,0
Poseur de revêtements souples	48	55	14,6
Poseur de systèmes intérieurs	99	267	169,7
Serrurier de bâtiment	18	77	327,8
Tuyauteur	210	402	91,4
Total	2704	5055	86,9

Source : Site Web de la Commission de la construction du Québec.

montant substantiel pour financer les activités de formation. À la fin de 2001, il disposait de près de 109 millions de dollars. Le volume actuel des dépenses est toutefois encore inférieur aux cotisations annuelles : les contributions des employeurs, tant en 2000 qu'en 2001, avoisinaient les 15,4 millions de dollars, alors que les dépenses du Fonds ont été de 6,2 millions en 2000 et de 10,2 millions en 2001. En fait, le FFIC n'a véritablement commencé ses activités qu'en 2000 et la période de rodage s'achève. Le FFIC a d'ailleurs fait une campagne active de promotion de la formation auprès des travailleurs en 2001 et 2002.

Les activités de formation ont fortement progressé en 2002, le nombre de travailleurs inscrits à des cours ayant pratiquement doublé. À ce jour, plus de 17 000 travailleurs ont bénéficié d'activités de perfectionnement. Au cours de l'année scolaire 2001-2002, 1 046 cours ont été mis à la disposition de la main-d'œuvre et des entreprises de construction. Ce sont le plus souvent les centres et les écoles de formation qui donnent ces cours. La formule est cependant assez souple ; en effet, la formation se donne parfois en entreprise. Le plus souvent, les travailleurs vont suivre les cours durant l'automne et l'hiver, des périodes moins actives pour le secteur de la construction. Les centres de formation cherchent véritablement à répondre aux besoins de la clientèle, notamment en offrant des cours le soir. L'objectif visé en 2005 est que 9 000 travailleurs, c'est-à-dire environ 10 % de la main-d'œuvre, soient en apprentissage.

Quant au deuxième fonds, qui vise le secteur résidentiel, soit le Plan de formation des travailleurs du secteur résidentiel, il disposait à la fin de 2001 de 15,6 millions de dollars. Les contributions des employeurs en 2001 ont été de 2,7 millions tandis que les dépenses liées à la formation n'ont été que de 149 000 \$. Ce fonds, encore en période de rodage, est donc loin d'avoir atteint ses objectifs. Il est possible, d'une part, que le niveau d'activité très élevé actuellement dans le secteur résidentiel constitue un frein à la formation permanente des travailleurs et, d'autre part, que de nombreux travailleurs actifs tant dans le secteur résidentiel que dans les autres secteurs préfèrent traiter avec le FFIC pour des raisons pratiques.

Constats relatifs aux liens entre la productivité et la formation

Effet positif de la syndicalisation sur la productivité, aux États-Unis

Il est intéressant de voir l'effet de différentes caractéristiques du secteur de la construction sur la productivité de ce secteur. Ainsi, on peut s'interroger sur les effets de la réglementation qui force la syndicalisation au Québec, de même que sur les effets des exigences relatives à la qualification de la main-d'œuvre sur la productivité. Il n'existe pas d'analyses propres au Québec, mais nous disposons de quelques études américaines qui jettent un éclairage sur la question.

Ces études concluent que la syndicalisation hausserait la productivité d'environ 20 % à 30 % dans le secteur de la construction aux États-Unis⁵.

5. Voir Steven G. Allen, « Unionization and productivity in office building and school construction », *Industrial and Labor Relations Review*, janvier 1986 ; Steven G. Allen, « Unionized construction workers are more productive », *Quarterly Journal of Economics*, mai 1984 ; Allan B. Mandelstamm, « The effects of unions on efficiency in the residential construction industry : a case study », *Industrial and Labor Relations Review*, juillet 1965.

Cependant, la syndicalisation aurait pour effet de hausser les salaires d'environ le même montant. En somme, les travailleurs syndiqués seraient plus productifs que les travailleurs non syndiqués, mais ils s'accapareraient les gains ainsi générés.

Les auteurs avancent trois raisons pour expliquer une productivité supérieure. La première est que les travailleurs de la construction syndiqués aux États-Unis reçoivent une formation, alors que ce n'est pas nécessairement le cas des travailleurs non syndiqués. Ils sont donc plus productifs et, de surcroît, demandent moins de supervision, ce qui permet d'économiser sur les coûts de surveillance. La deuxième raison est que, lorsque les entrepreneurs généraux doivent passer par le bureau syndical pour recruter, ils sont assurés d'obtenir une main-d'œuvre qualifiée et en quantité suffisante. Cela leur permet de diminuer les coûts de recrutement. La troisième raison est que le recours à une main-d'œuvre plus coûteuse inciterait les employeurs à mieux planifier leur travail, à innover davantage dans leurs méthodes et à être plus rigoureux dans leur gestion. Cependant, les auteurs ajoutent que la syndicalisation peut exercer un effet négatif sur la productivité quand elle restreint la marge de manœuvre des employeurs : pensons aux règles exigeant un employé qualifié pour effectuer une tâche simple, ou encore à celles obligeant à utiliser plus de travailleurs qu'il n'est nécessaire. D'après quelques études empiriques sur l'effet final des forces divergentes sur la productivité, l'effet total serait positif et de l'ordre de 20 % à 30 %.

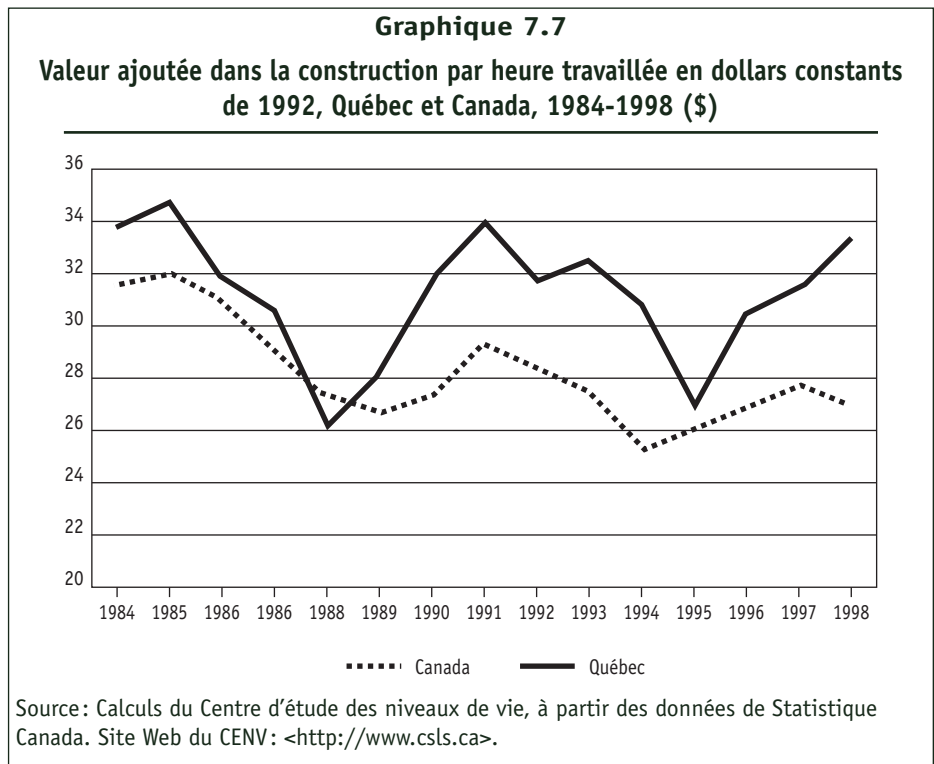
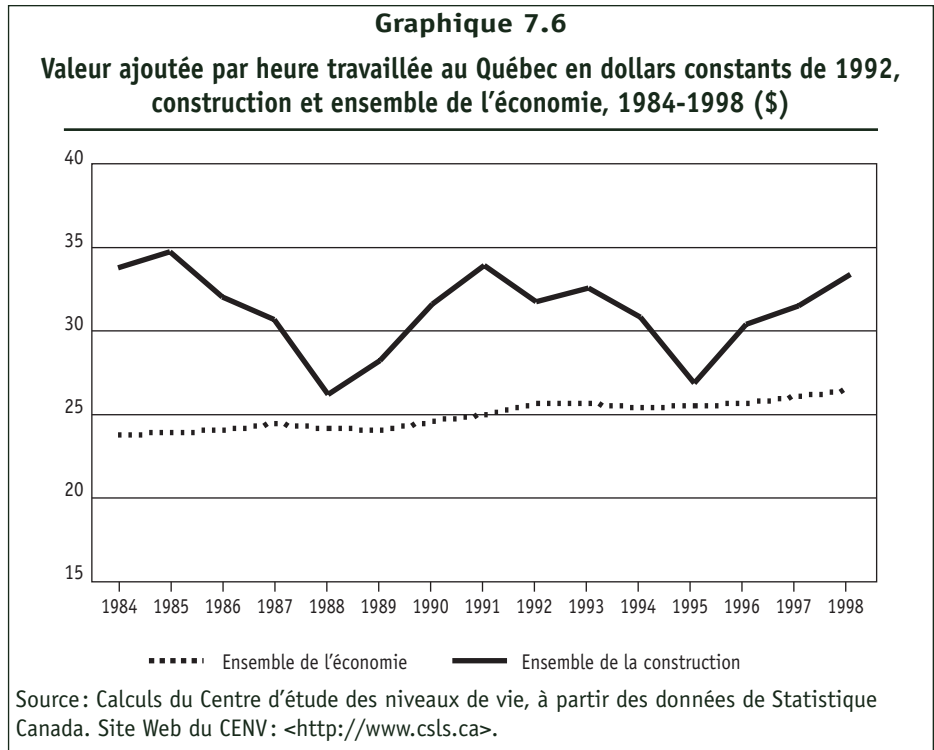
La réglementation du secteur de la construction au Québec peut avoir des effets très positifs sur la productivité pour les mêmes raisons qu'aux États-Unis. En effet, on l'a vu, pour se qualifier comme apprenti et accéder au secteur, un individu doit avoir suivi une formation dans un centre de formation. De plus, pour se qualifier comme compagnon, le travailleur doit avoir effectué un nombre déterminé d'heures de travail comme apprenti et réussir un examen de passage. De plus, la CCQ travaille en partenariat avec le MEQ et les centres et écoles de formation pour assurer la disponibilité des cours ainsi qu'un contenu directement axé sur les besoins des entreprises. Cette collaboration garantit également que les cours forment les étudiants et travailleurs aux nouvelles techniques et matériaux. Cet encadrement global donne l'assurance que les travailleurs québécois sont pleinement compétents et très productifs. Les données sur la productivité par heure travaillée au Québec vont en ce sens.

La productivité du secteur de la construction au Québec est supérieure à celle de l'ensemble des secteurs d'activité économique (graphique 7.6). Elle est également supérieure à celle du Canada (graphique 7.7). Il faut cependant souligner qu'elle stagne depuis le début des années 1980 lorsqu'on fait abstraction de la composante cyclique, alors qu'elle progresse lentement dans l'ensemble de l'économie. C'est d'ailleurs là un des grands défis que le secteur de la construction doit actuellement relever.

*Productivité
et salaires plus
élevés grâce à
la syndicalisation*

*La situation
au Québec*

*La productivité est
supérieure dans
le secteur de
la construction*



La main-d'œuvre de niveau collégial et universitaire

Les établissements collégiaux offrent six techniques en Bâtiment et travaux publics : technologie de l'architecture, technologie du génie civil, technologie de la mécanique du bâtiment, technologie de l'estimation et de l'évaluation en bâtiment, technologie de la géomatique et prévention en sécurité incendie. Nous n'allons examiner que les trois premières techniques, les seules véritablement pertinentes pour la construction d'édifices.

Tableau 7.9
Suivi des diplômés avec l'enquête Relance, en pourcentage des diplômés

	1999	2000	2001	2002
Technologie de l'architecture				
En emploi	59,4	67,3	62,1	59,3
Aux études	33,5	30,1	35,7	39,8
En emploi à temps plein lié	85,2	85,3	84,9	94,4
Technologie de la mécanique du bâtiment				
En emploi	68,1	76,4	82,7	79,6
Aux études	27,8	20,8	9,6	20,4
En emploi à temps plein lié	93,6	83,6	93,0	89,7
Technologie du génie civil				
En emploi	53,1	53,4	60,4	53,2
Aux études	34,5	39,0	33,8	39,7
En emploi à temps plein lié	82,0	85,7	83,1	95,4

Source : Ministère de l'Éducation du Québec, enquête Relance.

Les données du tableau 7.9 tirées du suivi des étudiants diplômés montrent qu'environ 40 % des étudiants en technologie de l'architecture ou du génie civil poursuivent des études à l'université dans des domaines apparentés. Quant aux étudiants qui sont sur le marché du travail, le pourcentage de ceux qui occupent un emploi directement lié à leur domaine d'études est très élevé. Ce pourcentage a augmenté de manière substantielle en 2002, atteignant environ 95 % tant en technologie de l'architecture qu'en technologie du génie civil et près de 90 % en mécanique du bâtiment. On voit donc l'effet de l'amélioration du marché du travail depuis le début des années 2000. Cette situation contraste avec ce qu'on

Avec la reprise de l'activité économique, les étudiants au collégial réussissent à trouver un emploi lié à leur domaine d'études

a observé durant les années 1990 où le niveau de l'activité dans le secteur du bâtiment fut anémique. Les diplômés en technologie de l'architecture ont alors éprouvé des difficultés à se trouver un emploi lié à leur domaine d'études. En effet, plusieurs de ceux-ci travaillent dans des firmes d'architectes où le travail se faisait très rare.

Les inscriptions sont à la hausse au collégial

L'amélioration du marché du travail pour les diplômés des techniques en bâtiment a également eu pour effet d'augmenter le nombre d'élèves inscrits dans ces techniques (tableau 7.10).

Tableau 7.10
Élèves commençant un cours dans une technique du bâtiment au collégial

	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002
Technologie de l'architecture	414	351	357	376
Technologie de la mécanique du bâtiment	142	158	223	236
Technologie du génie civil	307	301	300	374

Source: MEQ, *op. cit.*

Ces données tendent à démontrer clairement que les jeunes réagissent aux signaux du marché du travail.

Seules Concordia et l'ÉTS offrent un programme d'études universitaires complet en bâtiment

À l'université, ce sont essentiellement les architectes et les ingénieurs civils qui sont intéressés directement par la construction. Six universités québécoises offrent un programme en génie civil. Ce sont l'École polytechnique, McGill, Concordia, l'Université de Sherbrooke, l'Université Laval et l'École de technologie supérieure (ÉTS). Seules Concordia et l'ÉTS dans une moindre mesure offrent un programme complet sur le bâtiment qui comprend non seulement la formation de base en structures dispensée par l'ensemble des universités, mais également des cours spécialisés en management de la construction ainsi que sur l'enveloppe du bâtiment et la science du bâtiment en général. L'Université Laval, l'Université de Sherbrooke, McGill et Polytechnique sont plutôt spécialisées en réhabilitation des infrastructures urbaines, en génie de l'environnement, en hydraulique, en transports et en géotechnique. D'ailleurs, Concordia est la seule université canadienne à avoir un programme aussi spécialisé sur le bâtiment.

La décennie 1990 a été éprouvante pour les ingénieurs civils après la baisse de l'activité dans la construction. Ce sont d'ailleurs eux qui avaient le taux de chômage le plus élevé de toutes les catégories d'ingénieurs. On a assisté à une diminution substantielle des inscriptions au baccalauréat en génie civil dans les universités québécoises: elles sont passées d'environ 2 400 en 1992 à environ 1 500 en 1996 après avoir augmenté continuellement de 1982 (1 000 inscriptions)

à 1992⁶. Cependant, nous ne disposons pas des données propres aux étudiants spécialisés en structures du bâtiment et dans le bâtiment en général, de sorte qu'il est difficile de connaître l'évolution du nombre d'étudiants ingénieurs spécialisés dans ce domaine. Il est cependant raisonnable de penser que l'évolution a suivi celle observée pour l'ensemble du génie civil.

Le Centre d'études sur le bâtiment de l'Université Concordia, créé en 1977, a fusionné en 1997 avec le Département de génie civil pour devenir le Département du bâtiment et du génie civil et environnemental. Il regroupe 14 professeurs spécialisés en enveloppe du bâtiment, en acoustique, en matériaux avancés, en efficacité énergétique, en simulation numérique et logiciels liés au bâtiment, en qualité de l'air intérieur et en management de la construction. Plusieurs cours portent sur le management de la construction : le processus de la construction, la planification et les échéanciers des projets, le suivi et le contrôle du projet, les relations de travail ainsi que les questions légales liées au projet. L'ÉTS exceptée, Concordia est la seule université québécoise à avoir autant de cours spécialisés dans ce domaine.

L'ÉTS est membre du réseau de l'Université du Québec. Elle comprend un département de génie de la construction qui vise à former des ingénieurs pouvant analyser, planifier, contrôler les opérations des projets, assurer la direction des travaux et faire la gestion des travaux de construction en plus de concevoir des solutions et des procédés techniques associés à la réalisation des projets. Par comparaison avec Concordia, l'ÉTS effectue peu de recherche sur le bâtiment comme tel. Sa force semble plutôt résider dans la formation pratique d'ingénieurs capables de bien gérer les projets.

L'éventail de cours offerts par l'ÉTS et par Concordia sur le management de la construction les place au même niveau que les quelques universités américaines qui offrent un tel type de programme⁷. Il faut noter qu'une tendance se dessine qui consiste à augmenter le nombre de nouveaux diplômés spécialisés dans ce domaine dans plusieurs pays⁸. Le Québec n'accuse donc pas de retard à cet égard. Cet aspect est d'autant plus important qu'il est essentiel pour améliorer le management des projets de construction, ce qui permettrait d'augmenter l'innovation.

La décennie 1990 fut difficile également pour les trois écoles d'architecture au Québec, McGill, Laval et Montréal⁹. Les différentes universités ont dû procéder à une rationalisation de leurs banques de cours. Le nombre de professeurs permanents a diminué, passant de 58 en 1992 à 44 en 1998.

*Le Centre d'études
sur le bâtiment
de l'Université
Concordia*

*Le département
de génie de
la construction
de l'ÉTS*

*Trois écoles
d'architecture
au Québec*

6. Voir Commission des universités, *Les programmes du secteur du génie dans les universités du Québec, Rapport n° 3*, mars 1998, pour une description des différents programmes, un portrait de l'évolution des clientèles, etc.

7. Voir Osama Abudayyeh *et al.*, « Construction engineering and management undergraduate education », *Journal of Construction Engineering and Management*, mai-juin 2000.

8. Voir CIB, « Building Education and Research », *Proceedings of the CIB International Conference on Building Education and Research*, 8-10 juillet 1998.

9. Voir Commission des universités, *Les programmes en architecture, design, aménagement, urbanisme et études urbaines dans les universités du Québec, Rapport n° 15*, novembre 1999.

Il se fait très peu de recherche en architecture au Québec. Le profil de formation des professeurs semble d'ailleurs les destiner à l'enseignement plutôt qu'à la recherche. En effet, alors que dans l'ensemble des universités québécoises 79,8 % des professeurs étaient titulaires d'un doctorat, ce ne sont qu'entre 25 % à 57 % des professeurs en architecture et design selon les établissements qui en possèdent un.

Les chaires de recherche vouées au bâtiment sont rares, tant au Québec que dans l'ensemble du Canada

Afin de stimuler la recherche dans les universités, le gouvernement canadien a octroyé 900 millions de dollars lors du budget de 2000 pour appuyer la création de 2 000 chaires de recherche. L'examen des chaires accordées jusqu'ici montre qu'une seule fut accordée à un architecte. Celui-ci, de l'Université de Toronto, va réaliser différents ouvrages portant sur divers aspects de l'architecture moderne, notamment des ouvrages historiques sur des architectes célèbres. On est donc loin d'une recherche qui pourrait stimuler l'innovation dans le secteur de la construction. Un certain nombre de chaires de recherche ont été accordées en génie civil, dont deux à des professeurs de l'Université de Sherbrooke. L'un va se consacrer au comportement des infrastructures soumises à des vibrations, notamment des tremblements de terre, alors que le second vise une modélisation en laboratoire d'éléments structuraux innovateurs. Ces deux domaines de recherche semblent plus liés au génie civil qu'au bâtiment lui-même. Il existe donc à la fois au Québec et dans l'ensemble du Canada une lacune quant aux chaires de recherche vouées spécifiquement au bâtiment. Cette situation devra être corrigée dans les années à venir.

7.3 Commercialisation et exportation

L'internationalisation de la construction¹⁰

Les travaux de génie dominant le marché d'exportation

On a vu que les particularités de l'industrie de la construction la rendaient différente du secteur manufacturier et que son rayon d'action se limitait généralement aux marchés intérieurs¹¹.

Durant le 20^e siècle, les compagnies de construction internationales ont surtout été actives dans les pays en développement pour assurer l'érection d'infrastructures de génie civil, car les compétences locales en génie et en gestion nécessaires à la conduite de ces grands travaux faisaient défaut. La position privilégiée des entreprises européennes peut en partie s'expliquer par les liens privilégiés avec leurs anciennes colonies.

10. Voir Marc Linder, *Projecting Capitalism: A History of the Internationalization of the Construction Industry*, Greenwood Press, 1994.

11. Historiquement, l'exportation des biens et services de l'industrie de la construction s'est développée autour de l'exploitation de ressources minières ou pétrolifères dans les colonies européennes, laquelle a demandé la construction d'infrastructures de transport, de communication et de production d'énergie nécessaires à l'exploitation des ressources. Les travaux de génie civil ont donc été à la base de l'exportation de services de construction. Il est intéressant de noter cependant que, dès le milieu du 19^e siècle, les besoins pressants des colonies naissantes combinés avec le manque de main-d'œuvre locale ont stimulé la production et l'exportation de bâtiments préfabriqués. Au fur et à mesure que les colonies ont constitué un bassin de main-d'œuvre qualifiée, les besoins en bâtiments préfabriqués ont diminué et l'habitation est redevenue une industrie locale.

La crise du pétrole au début des années 1970 a modifié sensiblement ce portrait et les entrepreneurs ont investi massivement au Moyen-Orient, ce qui a contribué largement à l'internationalisation de l'industrie. Les compétences techniques pour conduire les grands projets complexes d'infrastructures nécessaires à l'exploitation et au raffinage du pétrole n'étaient à la portée que de très grandes entreprises.

Une fois le boom immobilier du Moyen-Orient passé, les entreprises internationales de construction se sont tournées vers l'exploitation de leurs différents marchés nationaux. L'émergence du marché européen a également accentué les possibilités de commerce entre les pays membres. Aujourd'hui encore, les projets d'exportation de biens et services de construction sont largement dominés par les grands travaux de génie. Toutefois, les besoins en habitation des pays nouvellement industrialisés font de ceux-ci un marché prometteur.

L'importance de l'exportation

L'exiguïté du marché québécois fait en sorte que les débouchés commerciaux se trouvent dans l'exportation¹². On a déjà évoqué au chapitre 3 que la diminution de la demande intérieure, particulièrement dans le secteur résidentiel, forcera tôt ou tard les entreprises à se tourner vers l'exportation. Actuellement aidées par la faiblesse du dollar, ces dernières peuvent acquérir une expertise des marchés extérieurs avant que le dollar ne s'apprécie¹³.

Il existe peu d'études sur l'exportation des produits et services de construction de bâtiments, la plupart des bilans disponibles portant plutôt sur le secteur manufacturier¹⁴. Une étude menée au Royaume-Uni¹⁵ indique que les petites firmes de construction n'ont pas d'intérêt marqué dans l'exportation. Cette situation semble bien correspondre à la réalité canadienne et québécoise où les entrepreneurs se sont toujours adaptés aux variations cycliques du marché intérieur. Les usines de préfabrication, comme on l'a vu au chapitre 3, ont également adopté le même mode de fonctionnement que les constructeurs traditionnels. C'est donc une culture d'exportation qui est à créer chez les entrepreneurs. On enregistre d'ailleurs de plus en plus de succès à ce chapitre. Notons cependant que les défauts de paiement ont coûté la survie de certaines entreprises. Les risques liés à l'exportation peuvent donc avoir rapidement raison de petites entreprises aux capacités financières réduites.

L'exportation dans l'industrie de la construction se distingue de l'exportation de produits manufacturés par sa nature même qui relève à la fois des services et des biens. La conception, l'architecture et l'ingénierie ainsi que la gestion des chantiers de construction sont des services. Le résultat final, un bâtiment,

Dans un contexte de demande intérieure en décroissance, l'exportation offre un potentiel intéressant

12. Conseil de la science et de la technologie, *Pour une politique de l'innovation*, 1997.

13. Conseil de la science et de la technologie, *L'entreprise innovante au Québec: les clés du succès*, 1998.

14. Faiza A. El-Higzi, International market entry for construction industry, *International Journal for Construction Marketing*, vol. 3 et Paul Westhead et al., *International market selection strategies of manufacturing and services firm*, <<http://www.developing-management.com>>.

15. Paul Westhead et al., *op. cit.*

constitue un produit formé de multiples sous-produits et composants issus du secteur manufacturier. Une stratégie de développement des exportations et du marketing couvre donc plusieurs créneaux. Comme on l'a vu, la majeure partie des échanges internationaux en construction s'est traditionnellement effectuée dans le domaine des travaux de génie et assez peu dans le domaine du bâtiment¹⁶. Dans le domaine du non-résidentiel, ce sont les services de conception et de gestion de projets qui sont généralement exportés, les produits locaux et la main-d'œuvre locale étant utilisés dans l'érection des édifices. Dans la construction résidentielle, de plus en plus de composants préfabriqués sont exportés à travers une industrialisation accrue de la production de composants toujours plus complexes. L'assemblage est généralement assuré par la main-d'œuvre locale. Les pénuries de main-d'œuvre spécialisée dans l'érection de structures suivant des méthodes traditionnelles qu'on retrouve dans plusieurs marchés, et notamment aux États-Unis, favorisent d'ailleurs le recours à ces composants fabriqués en usine.

Une culture d'exportation à créer chez les entrepreneurs spécialisés dans les bâtiments préfabriqués

La majeure partie du secteur du bâtiment reste encore une activité locale dans la plupart des pays, largement dominée par de petites entreprises dont la très grande majorité ne vise pas les marchés extérieurs. En ce qui concerne les entreprises qui se spécialisent dans les bâtiments préfabriqués, plusieurs hésitent à prendre les risques liés aux expéditions internationales. Les obstacles rencontrés par celles qui veulent tenter l'expérience sont surtout liés à des capacités de commercialisation réduites plutôt qu'à des capacités techniques. Dans le domaine du bois, par exemple, les entreprises québécoises n'ont jamais développé une culture d'exportation, en dépit de leur vaste expertise.

L'exportation de composants de construction

Il n'en va pas de même pour les matériaux de construction. Les exportations de matériaux de construction et de composants de bâtiments de toutes sortes constituent une source importante de revenus. En 1998, près de la moitié des expéditions de matériaux de construction était destinée au marché d'exportation et atteignait 16,1 milliards de dollars. La contribution de ce secteur à la balance commerciale canadienne se situait à 6,7 milliards de dollars.

La situation s'avère différente pour les matériaux: l'exportation est une source de revenu importante

Il est difficile de mentionner tous les produits qui sont ultimement destinés au marché de la construction. Il y en a plusieurs centaines. Disons seulement que le déclin progressif de la construction sur le marché canadien incite les entreprises à se tourner vers l'exportation. Deux groupes de matériaux dominent ce marché: les produits du bois avec une valeur de 9,6 milliards de dollars en 1998 et les produits métalliques avec 4,6 milliards de dollars¹⁷. Pour le Québec, c'est particulièrement dans les créneaux de l'exportation de composants en bois et de systèmes de construction à ossature de bois que réside le plus fort potentiel de développement si l'on considère l'expertise de la main-d'œuvre, la disponibilité de la ressource et l'infrastructure de production actuelle (tableau 7.11).

16. Clément Cohen, *Le chantier dans la diffusion de l'innovation technique*, Plan Urbanisme, Construction, Architecture, 1999.

17. Stratégie canadienne pour le commerce international (SCCI) 1999-2000 – Matériaux de construction.

Tableau 7.11
Répartition des usines et des emplois en deuxième transformation du bois
au Québec pour quelques secteurs, 1998

Secteur d'activité	Usines	Employés
Bâtiments préfabriqués	62	1 873
Armoires de cuisine	391	4 462
Portes et fenêtres en bois	178	5 021
Éléments de charpente en bois	55	1 401
Parquets en bois dur	15	933

Source : Ministère des Ressources naturelles, *Guide de référence de la valeur ajoutée et de la deuxième transformation du bois*, 1999.

Si les exportations de bois sont encore largement dominées par le bois d'œuvre traditionnel, certains produits à haute valeur ajoutée enregistrent des taux de croissance très élevés. Ainsi, les bâtiments préfabriqués en bois ont atteint un taux de croissance de 41 % durant la période allant de 1997 à 2001. Les graphiques 7.8 à 7.10 rapportent les exportations de quelques composants et bâtiments. Un secteur particulièrement dynamique est celui des armoires de cuisine dont la valeur totale des exportations dépassait un milliard de dollars en 2001 pour l'ensemble du Canada¹⁸ (graphique 7.8). Les importations d'armoires ont progressivement diminué, mais en 1995 on a assisté à un renversement des tendances avec une augmentation de la production et des exportations. L'Association des fabricants et distributeurs de l'industrie de la cuisine du Québec (AFDICQ) s'est alors fixé un objectif de 50 % d'exportations. Actuellement, plus de 40 % de la production est exportée.

On observe cependant un retard marqué du Québec en ce qui a trait à l'exportation de bâtiments préfabriqués en bois (graphique 7.9). Ce retard est confirmé par une étude de Forintek¹⁹ (voir le graphique 7.14) qui indique que près de 50 % de la production totale ontarienne est exportée comparativement à environ 10 % seulement pour le Québec, en 1996. Ce retard s'explique peut-être par la plus grande popularité de la maison modulaire au Québec (voir le tableau 4.7), qui se prête mal à l'exportation sur de grandes distances. Le système à panneaux, en revanche, permet une plus grande flexibilité sur le plan du transport et on a vu que les entreprises ontariennes l'ont toujours privilégié.

C'est dans le domaine des éléments de charpente métallique que le Québec enregistre ses meilleurs résultats avec des ventes à l'étranger de plus de 500 millions de dollars. Cette performance est attribuable à la présence des

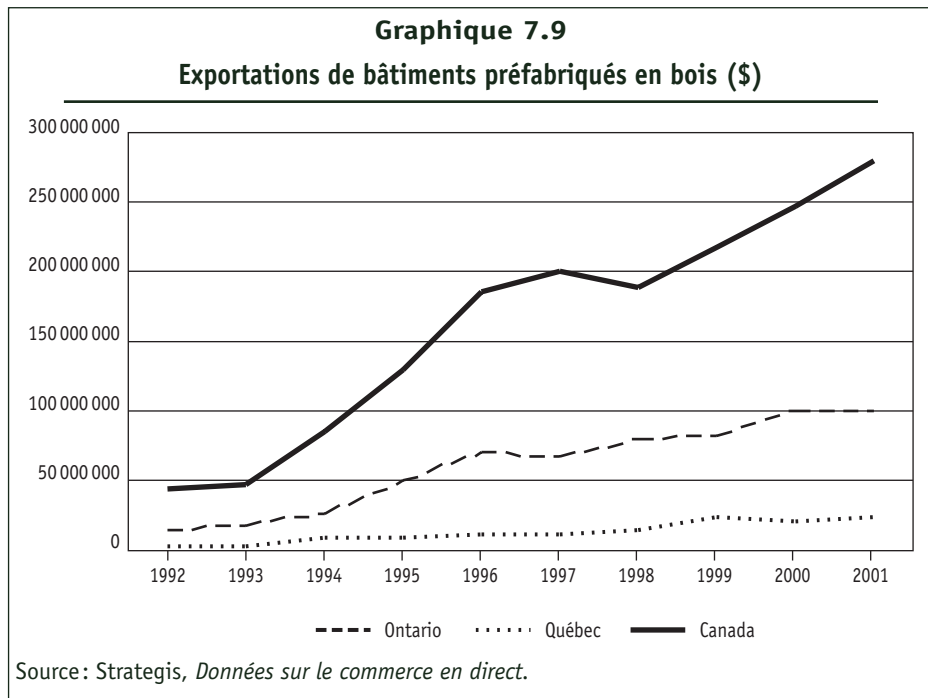
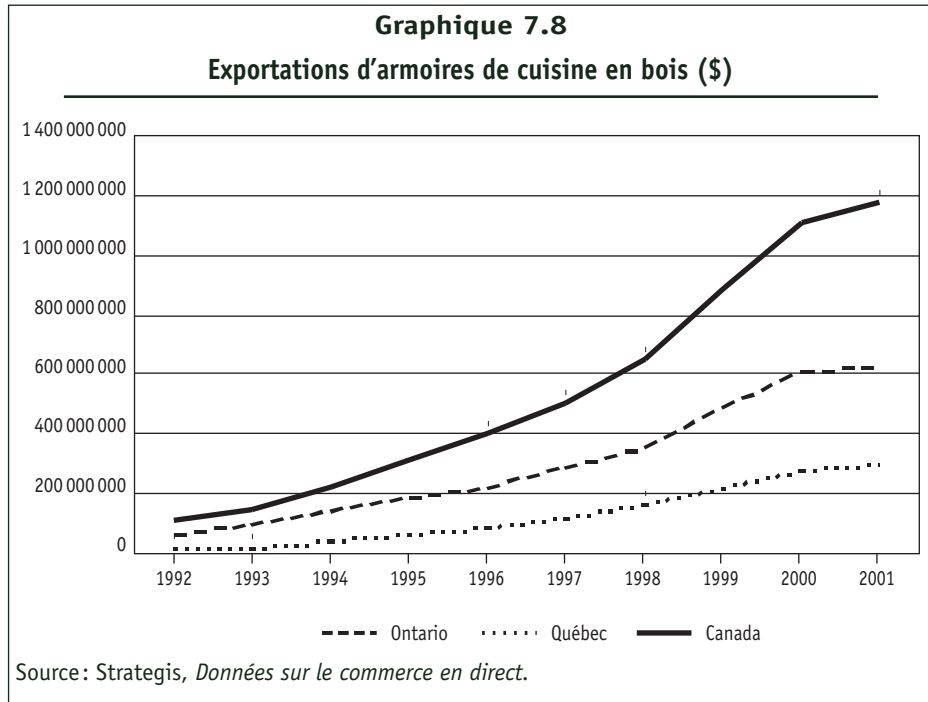
Les armoires de cuisine, un secteur d'exportation en expansion

L'exportation de bâtiments préfabriqués accuse un retard au Québec

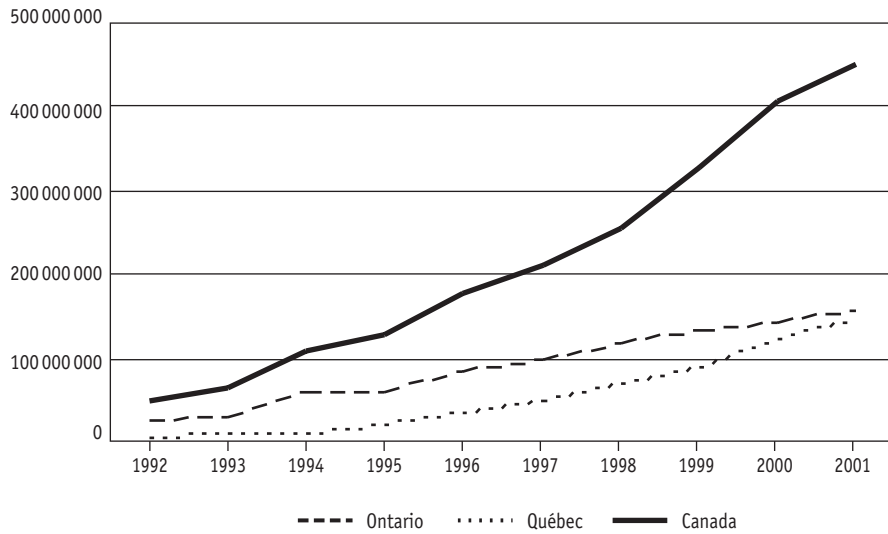
18. En 1988 au Québec, à la suite d'une mission commerciale en Italie, cette industrie a entrepris un virage majeur en faveur d'un design innovateur adapté aux exigences du marché nord-américain.

19. Paul Fazio et al., *Assessment of the Prefabricated Building Industry*, 2001.

grandes entreprises comme Canam-Manac et Groupe ADF (voir le chapitre 4). Les exportations de bâtiments préfabriqués en métal, malgré quelques succès, demeurent cependant également loin derrière celles enregistrées par l'Ontario (graphiques 7.11 à 7.13).

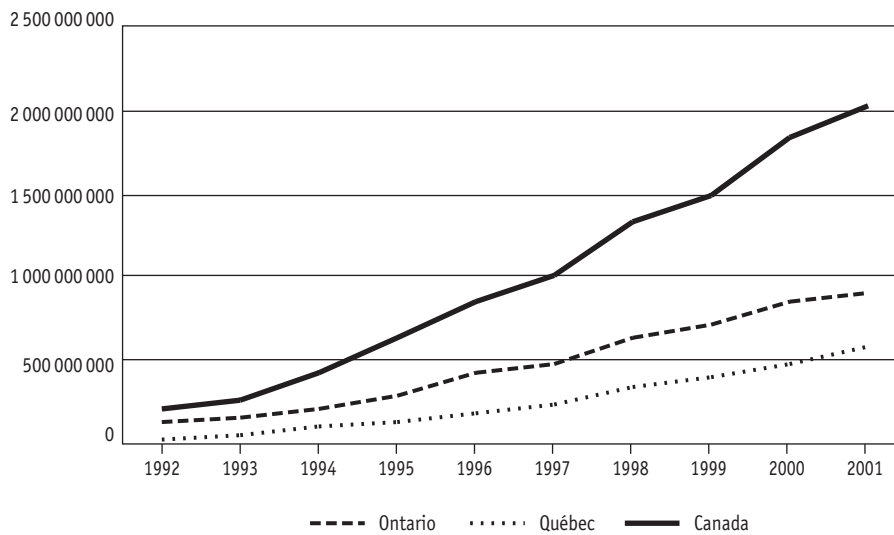


Graphique 7.10
Exportations de portes et fenêtres en bois (\$)

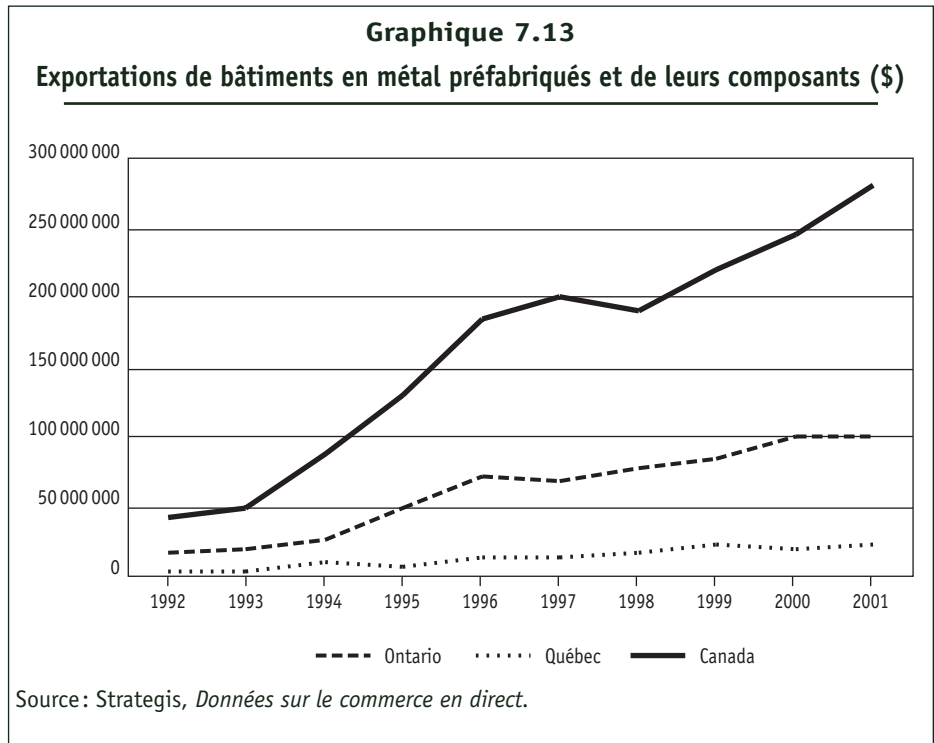
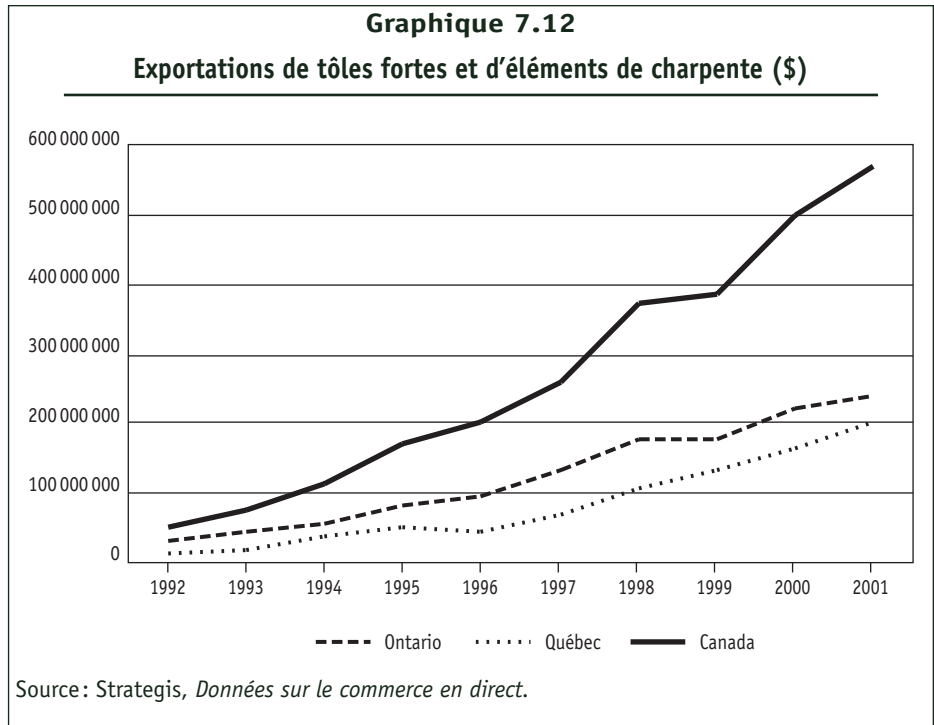


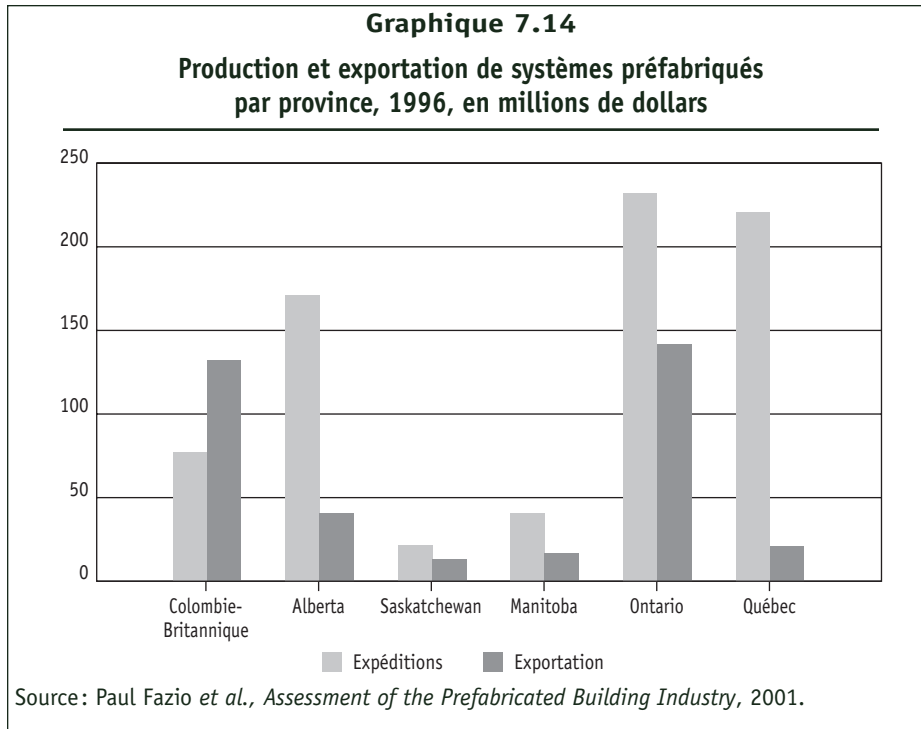
Source : Strategis, *Données sur le commerce en direct*.

Graphique 7.11
Exportations de produits d'architecture et de charpentes métalliques (\$)



Source : Strategis, *Données sur le commerce en direct*.





En résumé, les entreprises québécoises accusent un certain retard en matière d'exportation de bâtiments et de composants de bâtiments par rapport aux autres provinces canadiennes.

Les obstacles à l'exportation des services de construction

À l'intérieur des pays de l'OCDE, les achats gouvernementaux et les subventions à l'exportation exercent une grande influence sur les échanges internationaux dans le secteur de la construction. En effet, les marchés publics forment encore plus de la moitié de la demande totale de services de construction dans plusieurs pays. Comme il existe tout un ensemble de barrières non tarifaires, souvent basées sur des processus d'accréditation ou des exigences techniques qui ont tendance à favoriser les entreprises locales, cela freine les échanges. La multiplication des contrats de type partenariat public-privé défavorise également les entreprises canadiennes qui ont peu d'expérience dans ce type de contrat encore peu courant sur le marché national. La plupart des contrats internationaux reposent sur une intégration des différentes phases d'un projet au moyen de dispositifs contractuels comme le *design-build*, le *build-operate-transfer*, le *design-build-operate-transfer*, ainsi que sur un partage de risque comme dans le cas des partenariats public-privé. L'expertise des entreprises canadiennes et québécoises se retrouve surtout en conception et en design et les nouvelles formes contractuelles sont encore peu répandues sur le marché intérieur, ce qui prive les entreprises d'une expertise stratégique face aux compétiteurs internationaux. La compétence technique des ingénieurs canadiens est cependant reconnue mondialement.

*Les achats
gouvernementaux
et les subventions
à l'exportation,
deux freins
aux échanges*

Les pays en développement ne disposant pas toujours des ressources financières nécessaires à la conduite des grands travaux de construction, ils font généralement appel aux entreprises pour qu'elles leur proposent un mode de financement en même temps qu'une offre de service. Ces financements proviennent généralement d'emprunts à des banques commerciales ou de fonds publics. Certains pays (France et Japon) sont alors favorisés par les liens étroits unissant le secteur bancaire et le secteur de la construction. Le soutien à l'exportation par plusieurs gouvernements de l'OCDE a également favorisé les succès internationaux de plusieurs entreprises. Or, les entreprises canadiennes n'ont généralement pas accès aux mêmes garanties financières que leurs concurrents internationaux et elles sont généralement moins capitalisées.

L'exportation des services de construction vise, comme on l'a vu, surtout les projets de génie civil. Le secteur du bâtiment y occupe une place relativement modeste et on s'adresse généralement aux entrepreneurs locaux.

D'autres obstacles à l'exportation

D'autres obstacles à l'exportation, outre un intérêt modéré des entrepreneurs qui préfèrent développer les marchés locaux, sont liés à la certification des produits, au financement des projets et au développement d'une marque de commerce (« *branding* »). Chaque pays dispose de son propre code du bâtiment qui reflète ses conditions géographiques ainsi que son héritage culturel. Ainsi, par exemple, la maison à ossature de bois qui est la norme en Amérique du Nord peut être mal connue, voire dénigrée dans des pays qui ont l'habitude de construire en maçonnerie, étant donné sa moindre résistance au feu ou aux insectes. La conformité des matériaux et des composants utilisés n'est souvent disponible qu'auprès de laboratoires accrédités par les pays importateurs, ce qui représente des coûts supplémentaires pour les entreprises exportatrices : les essais canadiens par exemple ne sont pas automatiquement reconnus par les pays étrangers²⁰.

L'image de marque (« *branding* ») joue un rôle de plus en plus grand dans le marketing de produits. Une marque incorpore un processus de production et d'innovation qui oriente le marketing des produits et services²¹ ; les spécialistes actifs sur le terrain sont bien au fait de cette tendance et la reconnaissance d'une marque constitue un avantage comparatif appréciable. Le concept écologique de la maison R-2000 (voir le chapitre 3) a par exemple été commercialisé à l'étranger sous la marque de commerce « Super-E » avec un certain succès au Royaume-Uni et au Japon notamment. La marque en question véhicule une image de qualité supérieure et d'éco-efficience. Au Japon, à titre d'exemple, le plan de mise en marché est basé sur l'établissement de partenariats entre les concepteurs canadiens qui offrent les plans, les produits et les systèmes indispensables (la maison « Super E » doit contenir 60 % de matériaux canadiens) et des constructeurs japonais qui assurent la construction et un service après-vente²². Dans le

20. En Europe, seuls les organismes européens sont habilités à reconnaître les nouvelles normes européennes harmonisées et les laboratoires canadiens ne peuvent agir qu'en sous-traitants d'organismes européens.

21. *Dynamising National Innovation Systems*, OCDE, 2002.

22. Voir le site Web <<http://www.super-e.com>>.

marché de la maison préfabriquée, de grands efforts de promotion ont été faits par l'entremise de plusieurs missions à l'étranger qui ont remporté de vifs succès. Dans l'ensemble cependant, la création d'une image de marque pour la maison canadienne ou québécoise reste à établir, chaque fabricant ayant son propre mode de production. L'image de marque est donc inséparable d'une certaine normalisation, d'un contrôle de la qualité et d'un processus de certification autant des matériaux et composants que de l'ensemble du bâtiment assemblé. À cet égard, une problématique particulière s'applique aux maisons préfabriquées, puisque, même si l'expédition des composants se fait sous les meilleurs contrôles de qualité possibles, la qualité de la maison achevée reste tributaire de la compétence de l'entrepreneur local ou de sa familiarité avec la technologie employée par le fabricant. Les normes de qualité doivent par ailleurs s'adapter non seulement à des environnements climatiques extrêmement variables, mais aussi à des environnements culturels parfois vieux de plusieurs siècles. On voit donc que le marketing international de produits de l'habitation peut rapidement devenir très complexe. Il est donc difficile pour de petites entreprises d'aborder ces problèmes sans une aide externe. C'est d'ailleurs pour cette raison que les gouvernements canadien et québécois, de concert avec des organismes comme le Q-Web, par exemple, organisent des missions à l'étranger et offrent un soutien aux manufacturiers de maisons préfabriquées. Ces missions ont permis plusieurs percées intéressantes, mais il semble encore manquer une stratégie coordonnée de pénétration de marchés ciblés qui soit appuyée par une image de marque de la maison canadienne ou québécoise.

*Une image de
marque à construire
si l'on veut pénétrer
les marchés
internationaux*

Les marchés cibles

Une fois la décision d'exporter prise par une entreprise, la sélection d'un marché cible est la première étape du processus d'exportation²³. L'équipe commerciale Canada Industries et Services a par exemple identifié huit pays prioritaires dans le marché des services, soit l'Argentine, le Brésil, le Chili, la Chine, le Costa Rica, le Mexique, la Pologne et la Hongrie. Les différents intervenants du marché de maisons préusinées à ossature de bois, le Q-Web par exemple, préfèrent se limiter aux marchés des États-Unis, de l'Europe de l'Ouest et du Japon en raison des capacités financières réduites des autres marchés. L'examen succinct de deux marchés cibles, les États-Unis et la Chine, pour les maisons à ossature de bois, un créneau d'excellence potentiel pour le Québec, servira à démontrer les difficultés auxquelles se heurte une entreprise qui décide de tenter l'expérience de l'exportation.

Le marché des États-Unis

Parmi les principes de base dans la sélection d'un marché cible, on retiendra le potentiel du marché, une distance raisonnable de façon à limiter les coûts de transport ainsi qu'une familiarité du pays ciblé avec la technologie offerte. Sur ces trois plans, les États-Unis constituent le marché cible idéal pour les fabricants

*La sélection
d'un marché cible
basé sur plusieurs
variables*

23. Ministère des Travaux publics, *L'Exportation: le succès en 10 étapes*, 1997.

de maisons usinées et de composants en bois. Ces avantages ne vont pas sans contraintes ou barrières. La taxe de 27 % imposée récemment au bois d'œuvre canadien vise essentiellement le marché de la construction. Cette taxe a d'ailleurs été condamnée par les fabricants américains de composants de bois à valeur ajoutée, puisqu'elle augmentait leurs coûts de production²⁴. Cette même industrie a, du même souffle, demandé à la Commission américaine du commerce international d'enquêter sur le secteur canadien des composants structuraux en bois²⁵.

*Les États-Unis
constituent un
marché cible idéal
pour le Québec*

L'accès au marché américain aidé par la faiblesse du dollar canadien reste malgré tout l'une des principales forces des manufacturiers québécois. Par contre, la capacité limitée de production des usines québécoises constitue leur principale contrainte²⁶.

Aux États-Unis, la consolidation des entrepreneurs en construction et les pénuries de main-d'œuvre spécialisée sont les principales incitations au recours à des composants préfabriqués. Les études de Forintek montrent que les composants comme les fermes de toit, les murs et les planchers sont de plus en plus utilisés par les constructeurs américains. En 2000, plus de 33 % du bois employé dans le secteur résidentiel l'était dans les composants préfabriqués. Cette proportion semble cependant stagner malgré les observations recensées dans la littérature. L'utilisation de l'acier, particulièrement pour la construction des murs intérieurs, serait quant à elle en progression. L'Ontario est le premier exportateur canadien de fermes de toits, alors que les fabricants québécois détiennent la plus grande part de l'exportation de murs²⁷.

Les producteurs américains de composants en bois ont pris le virage de l'industrialisation et en récoltent maintenant les bénéfices. L'utilisation de stations de coupe automatisées, par exemple, permet non seulement de faire des économies au niveau de la main-d'œuvre, mais également d'aborder la fabrication sur mesure en petites quantités. Le marché américain se caractérise par un besoin de plus en plus prononcé de « sur mesure » (*customisation*). Le design des toits, par exemple, est de plus en plus complexe, ce qui entraîne un besoin en innovations technologiques pour combler la demande et pallier les pénuries de main-d'œuvre. Deux grandes catégories d'innovations technologiques sont jugées nécessaires à la croissance des usines de production de composants : la manipulation du matériel qui représenterait plus de 50 % des coûts actuels de main-d'œuvre et le développement d'un format standard d'échange de données numériques qui favoriserait un abaissement des coûts de production²⁸.

Cette dernière conclusion est en relation directe avec l'une des grandes tendances observées au chapitre 3. Cette tendance impose aux manufacturiers québécois une obligation de poursuivre et d'accentuer les processus d'automatisation

24. U.S. Value added wood products alliance calls for solution to softwood lumber trade dispute. Voir le site <<http://www.sbcmag.info/industrynewsredirect.htm>>.

25. *Nouvelles internationales sur le secteur de l'habitation*, septembre 2002, sur le site Web de la SCHL.

26. Sylvain Labbé, Q-Web, extraits d'une conférence sur les marchés d'exportation, 21-23 mars 2002.

27. Forintek, *Prefabricated Walls and Roof Trusses in U.S. Residential Markets*, 2002.

28. Melinda Caldwell, « Technology and the structural building components industry: A manufacturers perspective », *Structural Building Components Magazine*, mai 2002.

des usines de composants et d'intégration des processus de conception, de fabrication et de distribution s'ils veulent soutenir la compétition du marché américain. Les manufacturiers de composants au Québec seraient en effet plus avancés dans la voie de l'automatisation que les producteurs de maisons usinées. La stratégie de pénétration du marché américain pourrait donc reposer autant sur l'émergence de grands producteurs de maisons fortement automatisés que sur la constitution d'un réseau de producteurs de composants permettant de fournir des solutions intégrées. Cette idée de réseau de producteurs de composants ayant les entrepreneurs en construction comme principaux clients semble d'ailleurs progresser aux États-Unis²⁹.

Le marché de la Chine

Depuis son accession à l'Organisation mondiale du commerce (OMC), la Chine attire l'attention des grands exportateurs mondiaux de produits et services de construction. Ses besoins sur le plan de la modernisation des infrastructures de génie et en matière d'habitation sont criants et les volumes en cause énormes. En 1996, le secteur immobilier a d'ailleurs été ciblé comme l'un des piliers industriels de la Chine, bénéficiant de ce fait d'investissements majeurs³⁰. Le marché hypothécaire ainsi créé est vu comme une opportunité de croissance à faible risque pour le secteur bancaire chinois. Le ministère de la construction et de l'industrialisation de l'habitation ouvre donc ses portes aux étrangers et à leurs technologies dans le but d'industrialiser le processus de construction, de mettre fin aux méthodes artisanales de travail et d'augmenter la qualité des habitations³¹.

Les projets de démonstration des technologies japonaises, américaines, canadiennes anglaises et allemandes se multiplient en Chine. Les maisons à ossature de bois et les maisons en acier léger se disputent la faveur des autorités locales, chacune misant sur ses propriétés écologiques. La maison à ossature de bois semble cependant peu connue en Chine et soulève des réticences quant à sa résistance au feu, aux termites et aux typhons. Les promoteurs chinois désirent des immeubles en bois de grande dimension à des coûts plus abordables³². Il semble que la maison préfabriquée soit encore très peu présente sur le marché chinois et que les constructions à charpente d'acier bénéficient d'un préjugé favorable, le matériau étant davantage disponible localement. La promotion et la commercialisation de produits de bois sont au cœur des activités du Canada Wood Bureau qui a ouvert un bureau à Shanghai. Cet organisme regroupe les deux principales associations canadiennes de producteurs de produits forestiers, la BC Wood Specialties Group et le Bureau de promotion des produits forestiers du Québec (Q-Web).

Les manufacturiers québécois doivent poursuivre les efforts d'automatisation des usines

Le marché chinois ouvre de nouvelles occasions d'affaires

Les projets de démonstration sont très prisés en Chine

29. Melinda Caldwell, *op. cit.*

30. U.S. Department of Commerce, *Report on Business Development Trade Mission to China*, 5-14 juin 2000.

31. World construction giants eye Chinese market, *Beijing Time*, 2001.

32. « Construction et matériaux de construction – Aperçu du marché – Sud de la Chine », *Études de marché*, Services des délégués commerciaux du Canada, mars 2002.

*Des codes du
bâtiment à
harmoniser*

Les codes du bâtiment en Chine ne reconnaissent pas le mode de construction canadien à ossature de bois. Ces codes sont actuellement en révision et le gouvernement canadien, de concert avec des organismes comme le COFI et Forintek ainsi qu'avec d'autres organismes américains et néo-zélandais, collabore avec le ministère de la construction de Chine pour permettre l'inclusion des constructions en bois dans les codes du bâtiment chinois.

L'intérêt des Chinois ne réside pas seulement dans l'amélioration du parc immobilier, mais aussi dans la maîtrise des modes de production industrialisés avec une visée affirmée d'exportation³³. Un engagement à long terme, tant sur le plan financier que sur le plan des transferts technologiques, fait d'ailleurs partie des règles que les entreprises désireuses de faire affaire avec les Chinois doivent respecter.

Les produits de construction à faible valeur ajoutée rencontrent une forte compétition sur le marché chinois, tant des producteurs locaux que des compétiteurs internationaux. Ils sont également soumis à des tarifs douaniers. C'est ce qui milite en faveur d'une spécialisation des exportateurs canadiens vers des produits à valeur ajoutée³⁴. À cet égard les projets de démonstration se révèlent extrêmement importants. Près de soixante de ces projets destinés à prouver l'efficacité énergétique et le confort des habitations sont en cours à travers la Chine³⁵. Le manque de compétences des travailleurs locaux milite en faveur de l'achat de produits et composants faciles à installer. Les garanties, les programmes de formation et les programmes de soutien après-vente sont des éléments qui permettraient de se distinguer des autres fournisseurs³⁶. Les Chinois montrent une préférence pour les grandes entreprises, et l'image et la promotion jouent un rôle important dans la pénétration de leur marché. Les partenariats d'entreprises qui permettent d'offrir une gamme étendue de services s'avèrent donc une nécessité pour les plus petites firmes qui désirent percer le marché chinois³⁷.

L'aide à l'exportation

*Fort appui à
l'exportation
de la part des
gouvernements
fédéral et provincial*

Les gouvernements fédéral et provincial investissent beaucoup d'énergie dans le soutien à l'exportation, lequel occupe une place prépondérante dans leur stratégie de développement économique. Le *Répertoire des services offerts à l'exportation* du ministère des Finances, de l'Économie et de la Recherche recense, sans être exhaustif, plus de 70 organismes offrant produits et services en matière d'exportation. L'industrie de la construction en général et l'industrie des maisons préfabriquées, en particulier, bénéficient de plusieurs outils pour le développement des marchés extérieurs.

33. UICB Annual Meeting, Colin Davidson, 2001.

34. *Le marché de la construction, de ses produits et de ses services en Chine*, Centre des études de marché, Services des délégués commerciaux du Canada, 2001.

35. « Home buyers in China seeking upgraded apartments », *Peoples' Daily On-line*, 11 août 2002.

36. *Le marché de la construction, de ses produits et de ses services en Chine*, op. cit.

37. Science Council of British Columbia, *Lessons Learned*, 2001.

Le Centre canadien des matériaux de construction (CCMC) de l'IRC a pour objectif de faciliter l'exportation des produits de construction. Il établit des ententes bilatérales visant à réduire les obstacles techniques découlant des exigences des différents codes nationaux du bâtiment. Le CCMC est également membre du World Federation of Technical Assessment Organisations (WFTAO), un organisme international dont l'objectif est également de réduire les obstacles techniques à la diffusion de produits et de systèmes de construction.

Industrie Canada maintient deux équipes actives dans l'étude et la prospection de marchés pour le secteur de la construction : l'Équipe commerciale des matériaux de construction et l'Équipe commerciale Canada Industries et Services. Ces équipes élaborent des stratégies de commercialisation et mènent des études de marché et des activités de jumelage. Elles produisent également des études sectorielles sur différents sous-secteurs comme les portes et fenêtres ou les bâtiments préfabriqués. Leurs bulletins sont disponibles sur le site Web de Strategis.

Exportation Développement Canada (EDC), anciennement la Société pour l'expansion des exportations, est une institution financière qui a pour but d'offrir des services de financement aux exportateurs canadiens. EDC maintient également deux équipes sectorielles, l'une en génie civil et en services professionnels et l'autre en produits semi-manufacturés, qui couvrent le secteur de la construction.

Le ministère des Affaires étrangères et du Commerce international, par l'entremise de ses ambassades, produit un certain nombre d'études de marché sur le secteur de la construction des pays hôtes. Il maintient la base de données WIN Export qui sert à échanger de l'information et à trouver des fournisseurs canadiens. Le *Programme de développement des marchés d'exportation* (PDME) aide les petites entreprises qui exportent pour la première fois. La majeure partie des fonds est destinée aux entreprises manufacturières et le secteur de la construction ne recueille que 400 000 \$ répartis dans 22 projets. Il n'est cependant pas possible de distinguer les entreprises manufacturières rattachées au secteur du bâtiment.

La Société canadienne d'hypothèques et logement (SCHL) est l'un des organismes les plus actifs dans la promotion des exportations de produits d'habitation. Elle propose une série d'études et de bulletins sur les marchés extérieurs destinés à familiariser les exportateurs avec les différents codes et règlements des marchés importateurs. En plus d'effectuer une veille des marchés internationaux, elle participe à différentes foires et missions internationales et sert d'intermédiaire entre acheteurs étrangers et manufacturiers canadiens. La SCHL dispose également d'une expertise en matière de financement hypothécaire qu'elle exporte à l'étranger, notamment en Chine.

La Société d'habitation du Québec joue un rôle analogue à celui de la SCHL et les deux organismes collaborent à différentes missions commerciales.

Plusieurs ministères et organismes élaborent des stratégies et des programmes visant à promouvoir l'exportation

Le MFER (mission industrie et commerce) gère des programmes destinés aux exportateurs, comme *Impact PME* et le *Programme d'aide au développement du marché des Amériques* qui cible les marchés des Antilles et de l'Amérique du Sud. Ce programme permet en particulier de subventionner des projets de démonstration ou des projets pilotes. Dans sa politique, le ministère s'engage à soutenir financièrement les projets d'infrastructure et de construction.

*Une nouvelle
génération
d'entrepreneurs se
familiarise avec
l'exportation*

L'effort gouvernemental de promotion, d'accompagnement et de jumelage d'entreprises est remarquable. Il est particulièrement visible dans le domaine de la maison à ossature de bois, qui constitue un marché stratégique pour la technologie canadienne. La demande potentielle issue de ces diverses activités pourrait excéder les capacités actuelles de production de l'industrie. On a vu que la plupart des entrepreneurs canadiens et québécois sont issus d'une culture d'entreprise de construction traditionnelle tournée essentiellement vers le marché intérieur. Une nouvelle génération d'entrepreneurs est en train de prendre la place et de se familiariser avec l'exportation, comme l'indiquent de nombreuses expériences réussies de ventes à l'étranger. Toutefois il s'agit encore de petites entreprises, disposant d'un capital limité et dont les capacités de production sont réduites à l'échelle internationale. La faiblesse du marché intérieur québécois (bien qu'il soit actuellement dans une phase de croissance) constitue un obstacle majeur au développement des grandes entreprises et il est généralement admis que c'est l'expertise acquise sur le marché intérieur qui permet ultérieurement l'exploitation des marchés d'exportation.

*La mise sur pied
d'une industrie de
classe mondiale
constitue le défi
majeur des
entreprises
québécoises*

Le véritable défi de l'exportation de bâtiments pour les entreprises québécoises ne réside pas seulement dans l'augmentation de la valeur des exportations, mais aussi dans la mise sur pied d'une industrie de classe mondiale qui soit en mesure de répondre aux exigences croissantes des marchés. Parmi ces exigences, on doit retenir une flexibilité du design, de hautes performances énergétiques et une capacité de distribution à des coûts abordables. Le réseautage et les partenariats sont incontournables, car les modes de production et de distribution sont partout en mutation, notamment aux États-Unis, surtout en raison de l'importance grandissante des technologies de l'information. Or, on a vu que l'industrialisation du secteur québécois du bâtiment n'est pas achevée et que les modes de production artisanaux restent les plus répandus.

7.4 La réglementation

Vue d'ensemble

Au cours des années 1980 et 1990, la réglementation fut remise en question par plusieurs gouvernements. Certains gouvernements, notamment au Royaume-Uni sous Margaret Thatcher et aux États-Unis sous Ronald Reagan, entreprirent de déréglementer certains secteurs, en particulier le transport aérien et les

télécommunications. Il s'ensuivit une période de remise en question de certains aspects de la réglementation dans plusieurs pays industrialisés, voire parfois du bien-fondé même de la réglementation.

Les études qui ont cherché à mesurer les bénéfices et les coûts liés à la réglementation ont en général conclu que les bénéfices l'emportaient sur les coûts, y compris dans la réglementation sociale qui vise à protéger les travailleurs, les consommateurs ou l'environnement³⁸. Cela est particulièrement vrai des bénéfices environnementaux, qui dépasseraient de beaucoup les coûts liés à la réglementation. Ces mêmes études ont toutefois conclu que de meilleurs choix dans la réglementation auraient pour effet d'augmenter le bénéfice net. Il n'existe pas d'études qui ont porté spécifiquement sur le Québec quant à l'effet de sa réglementation. Le Conference Board du Canada concluait dans un rapport récent que, sur la base d'une comparaison internationale, la réglementation au Canada se comparait favorablement à celle des autres pays, quoique le Canada pourrait se montrer plus accueillant face aux investissements étrangers³⁹.

Le secteur de la construction tant au Québec que dans l'ensemble des pays industrialisés est assujéti à une réglementation abondante, notamment en ce qui concerne les normes portant sur la construction des édifices et sur la protection contre les incendies. L'ensemble de ces normes constitue les codes du bâtiment. Les principales préoccupations qui ont guidé les gouvernements un peu partout dans le monde dans l'élaboration de ces codes furent de veiller à la sécurité des occupants et d'assurer la durabilité des bâtiments. La réglementation relative aux professions vise également à garantir que les édifices construits sont sécuritaires et durables. Par exemple, au Québec, la Loi sur les architectes stipule que l'architecte engage sa responsabilité professionnelle, obligation qui va de cinq ans pour tout vice de construction à dix ans pour des vices cachés.

En plus de veiller au respect de la sécurité des occupants et à la durabilité des bâtiments, le gouvernement du Québec a mis en place une législation diverse en vue d'assurer la paix industrielle sur les chantiers de construction et de voir à ce que la main-d'œuvre soit qualifiée.

La Régie du bâtiment et la Commission de la construction du Québec

La Régie du bâtiment du Québec (RBQ) et la Commission de la construction du Québec (CCQ) sont les deux organismes chargés de veiller au respect de la réglementation dans le secteur de la construction au Québec. Selon la Loi sur le bâtiment, la mission de la Régie est d'assurer la qualité des travaux de construction et la sécurité des personnes qui accèdent aux bâtiments ou à divers équipements publics (les funiculaires, les manèges, etc.). La Régie cherche à

Les bénéfices de la réglementation l'emporteraient sur ses coûts

La Régie du bâtiment assure la qualité des travaux et la sécurité des personnes

38. Voir Robert Gagné, Paul Lanoie, Pierre-Carl Michaud et Michel Patry, « Les coûts de la réglementation : une revue de la littérature », *Cahier CIRANO 2001s-55*, octobre 2001, ainsi que Office of Management Budget, *Report to Congress on the Costs and Benefits of Federal Regulation*, Washington, septembre 1997.

39. Conference Board of Canada, *Including Innovation in Regulatory Frameworks*, 2002.

atteindre cet objectif au moyen du Code de construction et du Code de sécurité, en délivrant, modifiant et renouvelant sur une base annuelle les licences des entrepreneurs généraux et spécialisés ainsi qu'en exerçant une activité de surveillance, principalement au moyen d'inspections tant sur les chantiers de construction que dans les bâtiments et équipements existants.

Quelques dates importantes pour la Commission de la construction au Québec

L'origine de la CCQ remonte à 1934. Durant les années 1934 à 1968, les parties patronales et syndicales se servaient de la Loi sur les décrets des conventions collectives pour faire reconnaître leurs ententes. En 1968, le gouvernement a adopté la Loi sur les relations de travail dans l'industrie de la construction qui donna naissance à la Commission de l'industrie de la construction, à laquelle succédèrent, de 1975 à 1986, l'Office de la construction, puis à partir de 1987 la CCQ. Au fil des ans, les mandats confiés à la CCQ et à ses prédécesseurs furent élargis pour administrer les régimes complémentaires d'avantages sociaux (1963), surveiller les normes de sécurité sur les chantiers de construction (1972-1980 et maintenant la responsabilité de la CSST), administrer un fonds d'indemnisation de salaire en cas de faillite de l'employeur (1973), organiser le scrutin d'allégeance syndicale (1975), vérifier et contrôler l'application des normes relatives à l'embauche et à la mobilité de la main-d'œuvre (1978), s'assurer de la compétence de la main-d'œuvre et veiller à l'application des mesures et programmes relatifs à la formation professionnelle (avant 1968 et depuis 1987) et finalement lutter contre le travail au noir dans le secteur de la construction (1994).

Les compétences de la CCQ couvrent la majeure partie des travaux de construction à l'exception des travaux de rénovation et de réparation exécutés directement pour la personne qui habite la maison (la majeure partie de la rénovation résidentielle), les travaux effectués pour les exploitations agricoles, minières et forestières, les travaux réalisés par les employés municipaux, les travaux menés par Hydro-Québec sur les lignes de distribution d'énergie électrique ainsi que les travaux d'entretien et de réparation exécutés par un salarié permanent d'un employeur.

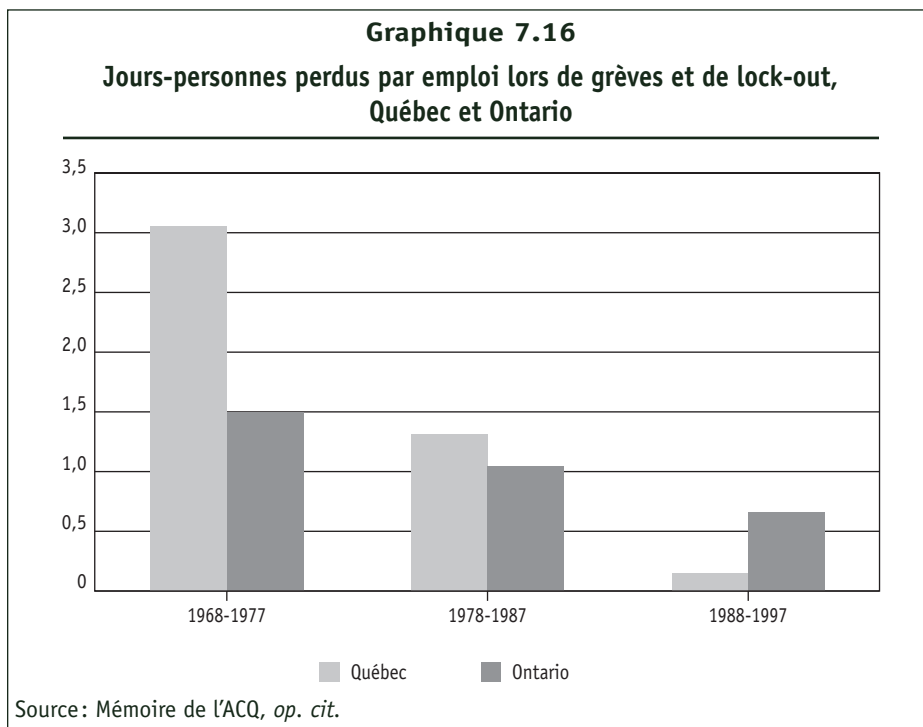
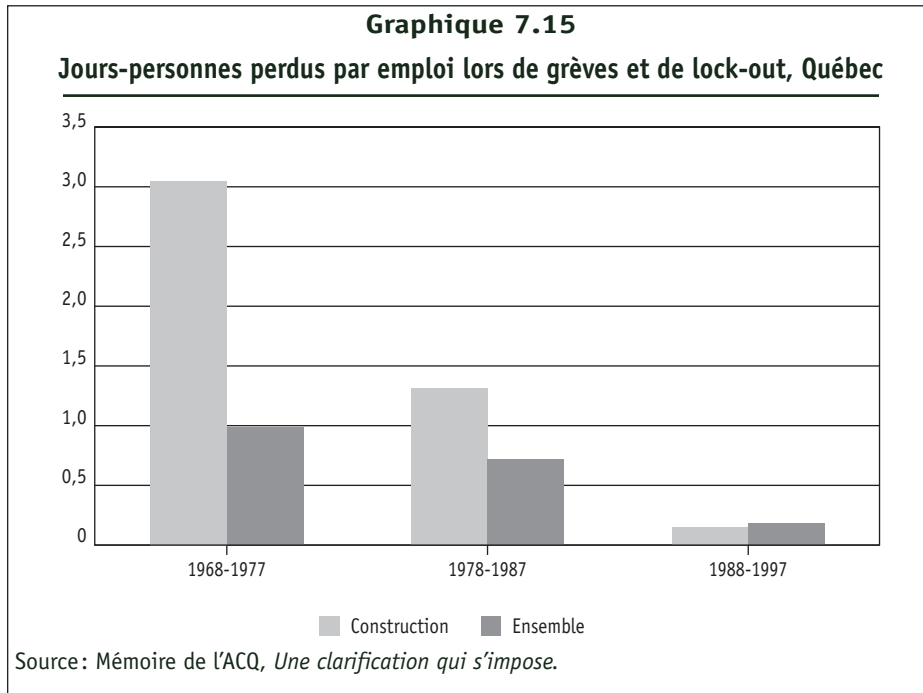
Un régime des relations de travail unique au Québec

Le régime des relations de travail dans le secteur de la construction est unique au Québec. Il vient du fait, d'une part, que les travailleurs sont appelés à travailler pour différents employeurs dans différentes régions et, d'autre part, que les employeurs sont appelés à effectuer divers chantiers dans plusieurs régions. Le syndicalisme industriel basé sur l'établissement ne pouvait donc pas s'appliquer au secteur.

Il semble que l'encadrement des relations de travail a eu pour effet de ramener la paix industrielle dans ce secteur où les relations furent parfois houleuses, particulièrement au début des années 1970.

Le nombre de grèves dans le secteur de la construction est maintenant inférieur à celui de l'ensemble de l'économie québécoise, alors qu'il lui était de beaucoup supérieur durant la période 1968 à 1977 (graphique 7.15).

De plus, le nombre de jours perdus par emploi dans des grèves ou lock-out est maintenant de beaucoup inférieur à celui de l'Ontario (graphique 7.16).



Le Code du bâtiment

Dans la presque totalité des pays, les différents codes qui régissent la construction sont des codes dits prescriptifs dans le sens qu'ils spécifient des matériaux bien précis et des méthodes précises, retenus après des tests rigoureux et standardisés. Les codes prescriptifs ont pour effet de rassurer les concepteurs, les entrepreneurs, les travailleurs ainsi que les inspecteurs chargés de la vérification, parce qu'ils sont clairs et précis quant à ce qui est acceptable.

*Problèmes soulevés
par les codes
prescriptifs*

Les codes prescriptifs soulèvent trois grands problèmes⁴⁰. Le premier est qu'ils constituent une barrière à l'innovation. En effet, par définition, un nouveau matériau ou une nouvelle méthode d'assemblage, par exemple, ne font pas partie d'un code prescriptif puisqu'ils n'existaient pas au moment de sa rédaction. La deuxième difficulté est qu'ils freinent le recours à une nouvelle méthode moins dispendieuse. En effet, comme la norme à respecter n'est pas explicite, il est difficile pour le concepteur de la nouvelle méthode de convaincre les autorités que son produit ou sa nouvelle façon de faire va respecter les objectifs de sécurité et de durabilité du bâtiment. Le troisième désavantage est que l'usage de tels codes peut freiner les échanges commerciaux entre les pays, puisque chaque pays a son propre code : un producteur étranger doit démontrer que son matériau est équivalent à ceux qu'exige le pays étranger.

*Les nouveaux codes
sont axés sur
la performance*

Au contraire d'un code prescriptif, un code axé sur la performance précise le niveau de risque acceptable et la performance exigée, de sorte que le concepteur peut plus facilement démontrer que le matériau ou le composant atteignent les objectifs poursuivis. Cependant, un code axé sur la performance peut se révéler extrêmement exigeant pour l'ensemble des acteurs du milieu de la construction, suivant la manière dont il est conçu⁴¹. Un code axé sur la performance exige que le promoteur du nouveau matériau ou de la nouvelle méthode convainque les autorités responsables que ce matériau ou cette nouvelle méthode satisfait bien aux normes en vigueur. Il y a trois manières de convaincre les autorités : faire des tests, faire des simulations numériques, ou combiner les deux manières précédentes. De plus, il faut que ces simulations et ces tests soient validés par une tierce partie, par exemple un laboratoire indépendant privé ou gouvernemental.

Au Canada, les provinces et les territoires sont les seules juridictions qui ont l'autorité constitutionnelle de réglementer la conception et la construction des bâtiments ainsi que le maintien de leurs systèmes de protection incendie. Les raisons qui expliquent que nous nous retrouvions avec un Code national du bâtiment (CNB), un Code national de prévention des incendies et un Code national de la plomberie sont historiques. Jusque dans les années 1930, il n'existait aucun code du bâtiment provincial ou territorial. Les provinces et les

40. Voir Greg C. Foliente, « Developments in performance-based buildings codes and standards », *Forest Products Journal*, vol. 50, juillet-août 2000.

41. Supposons qu'un code axé sur la performance ne fasse que préciser les exigences et normes à atteindre. Cela aurait pour effet d'introduire beaucoup d'incertitude, à l'opposé d'un code prescriptif où chacun des intervenants (concepteur, entrepreneur, travailleur, fabricant de matériau et inspecteur) sait exactement quel matériau ou quelle méthode il peut spécifier, utiliser, fabriquer ou inspecter.

territoires déléguaient simplement cette responsabilité à leurs municipalités. Cela a donné lieu à un assortiment hétéroclite de codes municipaux qui constituaient un obstacle majeur à l'expansion de l'industrie de la construction au pays. En outre, l'absence de base scientifique dans la plupart de ces codes était une source d'inquiétude pour les membres de l'industrie. Le fait qu'il n'existait aucun code du bâtiment applicable à l'ensemble du pays rendait aussi difficile la mise en œuvre de programmes pancanadiens, par exemple pour encourager la construction de logements.

C'est pour répondre à ces préoccupations que le gouvernement fédéral a demandé aux ingénieurs du Conseil national de recherches Canada (CNRC) de préparer un code modèle du bâtiment fondé sur les meilleures connaissances scientifiques et techniques de l'époque. Ce premier code modèle a été publié en 1941. Il s'est répandu rapidement dans tout le Canada et a fait preuve d'une telle efficacité qu'à la fin de la guerre le gouvernement fédéral a demandé au CNRC de maintenir ce code à jour. Le Code national du bâtiment (CNB) a donc été périodiquement mis à jour depuis, sous la supervision d'un organisme indépendant – qui allait devenir la Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies – et avec le soutien de l'Institut de recherche en construction (IRC). Le Code national de prévention des incendies, puis le Code national de la plomberie sont venus compléter le CNB par la suite.

À partir des années 1960, les provinces et les territoires ont commencé à se prévaloir de leur prérogative constitutionnelle pour adopter des codes de juridiction provinciale ou territoriale. La plupart ont simplement adopté les codes modèles canadiens existants⁴². D'autres provinces ont choisi de publier leurs propres codes, fondés sur les codes modèles, mais les ont modifiés ou complétés pour les adapter à leurs besoins. Enfin, certaines provinces ont adopté seulement un ou deux des trois codes modèles, laissant aux municipalités le soin d'édicter leurs propres codes. Au Québec, c'est la Régie du bâtiment qui est responsable des différents codes. Sa philosophie est de faire le moins de changements possible par rapport aux Codes canadiens dans le but de faciliter la tâche des entrepreneurs et de leur permettre plus facilement de soumissionner sur des projets dans d'autres provinces.

Au cours des dix dernières années, plusieurs pays industrialisés ont conclu qu'il serait préférable d'utiliser des codes axés sur la performance. Le Canada ainsi que l'ensemble des provinces ont pris cette décision vers la fin des années 1990. Cependant, afin de simplifier le plus possible la tâche de tous les intervenants, les nouveaux codes comprendront deux parties dites divisions A et B. La division A établira les objectifs visés par le code et les exigences fonctionnelles (en termes qualitatifs) auxquelles doivent répondre des solutions. La division B établira les solutions acceptables censées satisfaire aux objectifs et aux exigences fonctionnelles de la division A. Ces solutions acceptables seront

Au Québec, la Régie du bâtiment est responsable des différents codes

Plusieurs pays ont opté pour des codes axés sur la performance

42. Les codes modèles n'ont pas force de loi tant qu'ils n'ont pas été adoptés par une autorité gouvernementale compétente. Voir *Le système de construction au Canada, le contexte des codes modèles*, CCCBPI (CNRC), Ottawa, 10 p.

en fait les exigences prescriptives et les exigences de performance des codes actuels. Il y aura des renvois obligatoires de la division A à la division B et vice versa.

*Les nouveaux codes
favoriseront
l'innovation dans
les décennies
à venir*

Cette séparation en deux divisions est motivée en partie par le fait que, selon toute probabilité, la division A demeurera très stable. En effet, les objectifs généraux et les exigences qualitatives d'un code changent rarement. Le fait de garder ceux-ci séparés des solutions et des critères quantitatifs offrira la possibilité aux autorités provinciales d'adopter la division A dans leur législation sans avoir à la changer très souvent. La division B pourrait alors être adoptée sous forme de règlements, lesquels ne nécessitent aucune intervention législative. La division B d'un code donné est susceptible de changer plus souvent que la division A en raison de l'ajout de nouvelles solutions acceptables et de l'amélioration des solutions acceptables existantes. On prévoit que ce travail suivra un cycle régulier de révision et que les codes seront publiés périodiquement, comme c'est le cas actuellement.

Cette manière de procéder en spécifiant clairement les objectifs à atteindre et les solutions acceptables va grandement faciliter la tâche des différents intervenants tout en favorisant la mise en œuvre de solutions novatrices. En effet, la division B va inclure toutes les méthodes et tous les matériaux actuels qui sont familiers aux concepteurs, aux travailleurs, aux entrepreneurs et aux inspecteurs. Pour ce qui est des nouveaux matériaux et des nouvelles méthodes, il incombera aux personnes et aux entreprises qui cherchent à les promouvoir de convaincre les autorités que ceux-ci répondent aux objectifs visés par la division A du code, cela au moyen de tests et de simulations. Le Centre canadien des matériaux, une division de l'IRC, va continuer à jouer un rôle fort utile pour permettre l'évaluation des nouveaux matériaux.

En somme, le Canada ainsi que les provinces sont en train d'innover. Au Québec, la Régie du bâtiment vise à ce que le nouveau code soit utilisé à partir de 2004. Ce changement d'orientation va favoriser l'innovation dans le secteur de la construction au cours des décennies à venir.

7.5 La sécurité sur les chantiers de construction

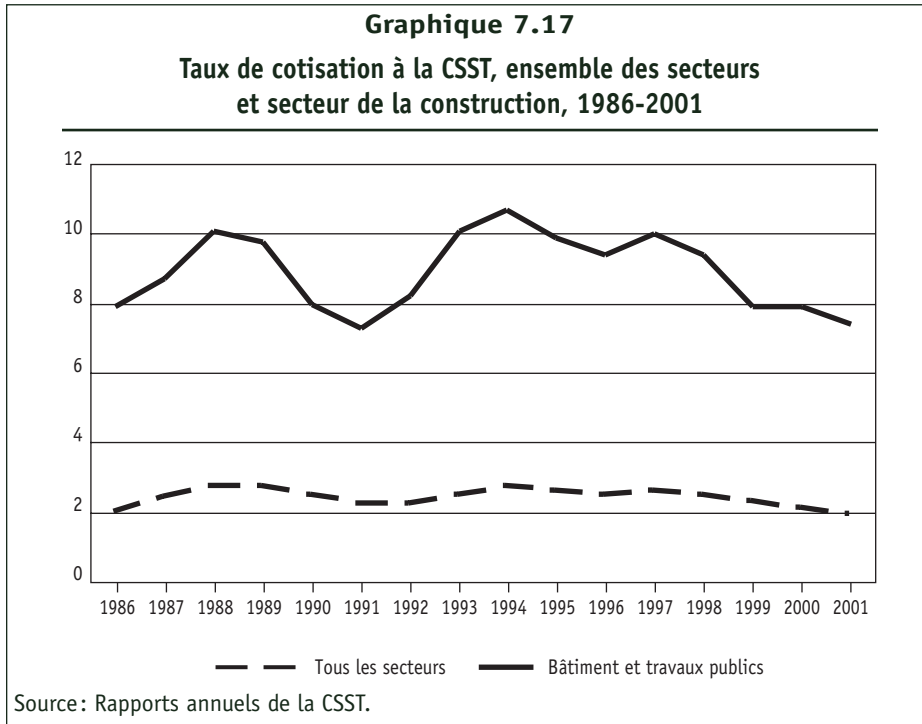
*Partout dans
le monde,
la construction est
l'un des secteurs les
moins sécuritaires*

L'industrie de la construction est reconnue comme l'un des secteurs de travail les moins sécuritaires, et ce, un peu partout dans le monde. Cette situation a pour effet d'entraîner des coûts de toutes natures pour les entreprises et les travailleurs victimes d'accidents. Aux États-Unis, on estimait à la fin des années 1970 que le coût des accidents représentait près de 7 % des coûts totaux de construction dans les secteurs industriel, commercial et des infrastructures. Une estimation plus récente établit que ce coût se situe entre 8 % et 15 %⁴³. Au Québec, la situation est relativement semblable, comme en témoignent les taux de

43. John G. Everett, « Costs of accidents and injuries to the construction industry », *Journal of Construction Engineering and Management*, juin 1996.

cotisation à la CSST. En effet, les taux reflètent le coût des réclamations et, par conséquent, sont un bon indicateur du risque propre à chaque secteur d'activité économique.

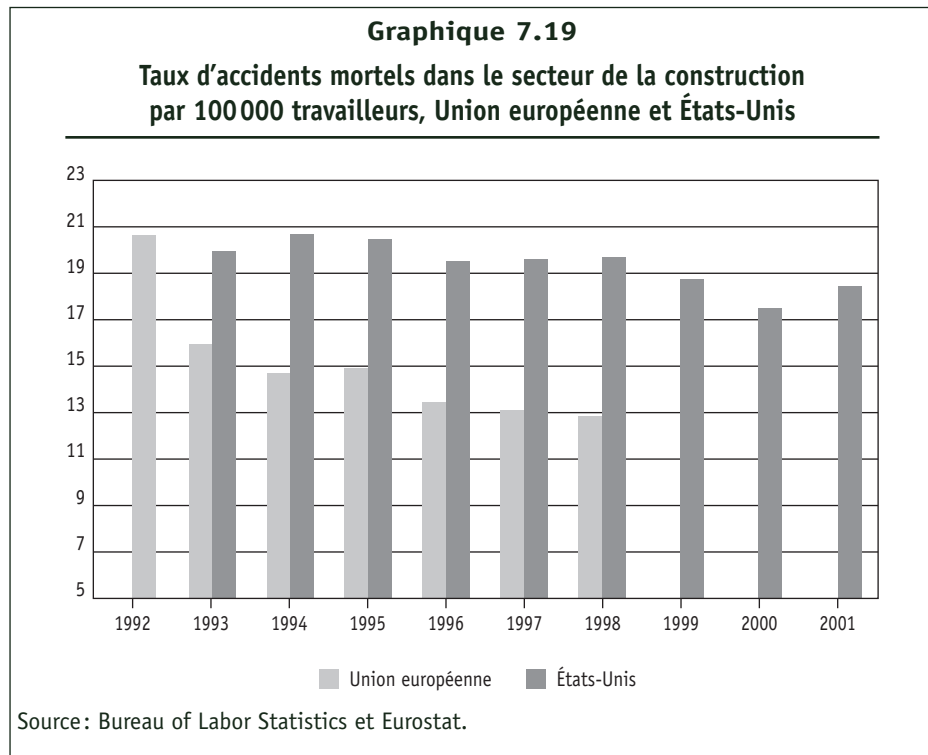
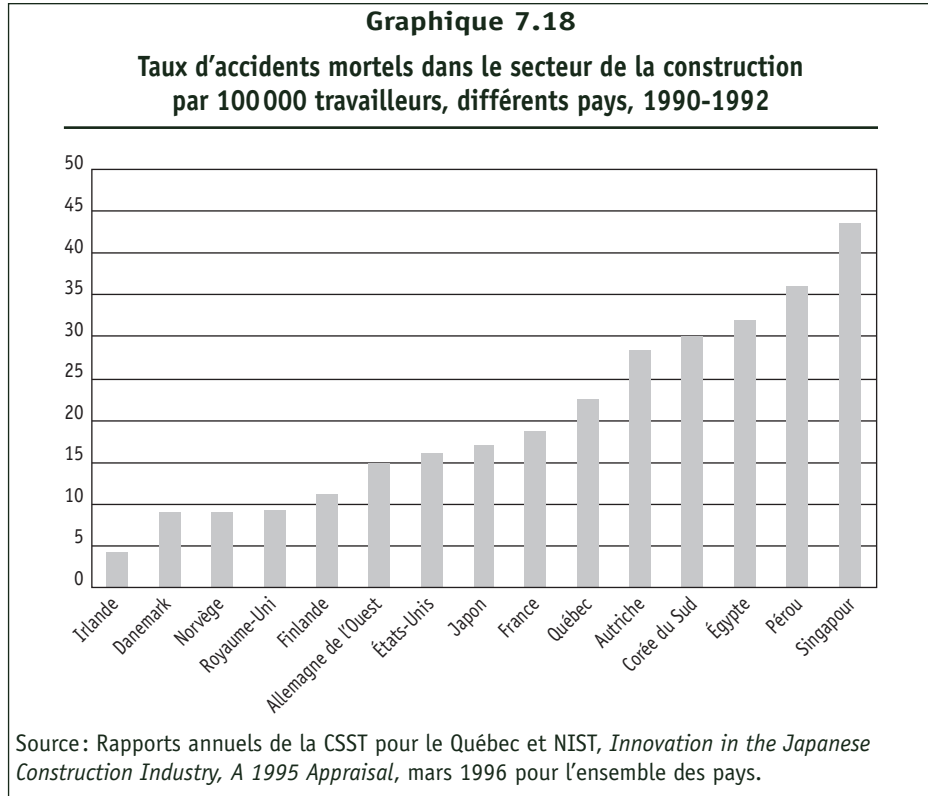
Le coût des réclamations du secteur du bâtiment est d'environ quatre fois celui de l'ensemble des secteurs (graphique 7.17). Il a tendance à baisser depuis le milieu des années 1990. Cependant, il est très possible que cette baisse soit liée à la faiblesse de la construction durant la deuxième moitié des années 1990. La reprise actuelle pourrait entraîner une hausse du nombre d'accidents.

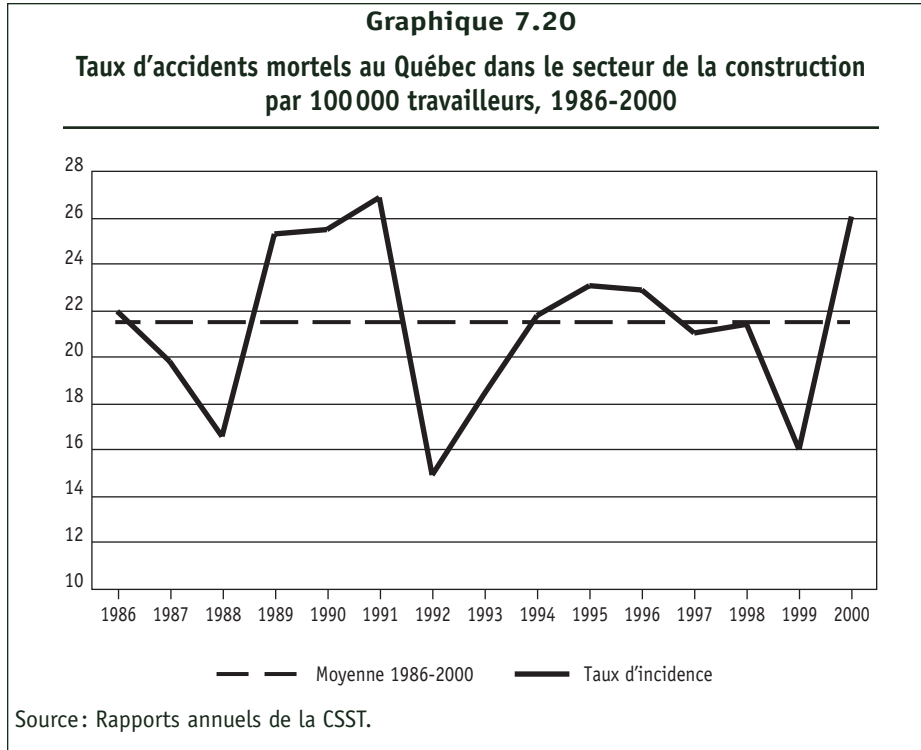


Un indicateur fréquemment utilisé pour comparer les performances relatives des différents pays en matière de sécurité sur les chantiers de construction est le taux d'accidents mortels par 100 000 travailleurs. À ce titre, la performance du Québec est loin d'être exemplaire (graphique 7.18).

La performance du Québec laisse à désirer

De plus, la performance du Québec au cours des quinze dernières années est stationnaire, alors qu'elle semble s'améliorer lentement tant en Europe qu'aux États-Unis (graphique 7.19). On observe un comportement nettement cyclique du nombre d'accidents mortels sur les chantiers de construction au Québec (graphique 7.20). Lorsque l'activité ralentit, comme ce fut le cas au début des années 1990, la fréquence des accidents diminue. À l'opposé, quand les travaux s'intensifient, comme ce fut le cas à la fin des années 1980 et depuis 2000, le nombre d'accidents mortels remonte. En somme, la performance du Québec doit être améliorée.





Une revue de la littérature sur les facteurs susceptibles de réduire le nombre d'accidents sur les chantiers de construction (tableau 7.12) a révélé que dans presque tous les cas un engagement formel des dirigeants des entreprises à l'égard de la sécurité ainsi qu'une bonne planification et une bonne gestion des chantiers s'avéraient les meilleurs moyens pour diminuer la fréquence de ces accidents⁴⁴.

Une étude effectuée au Québec⁴⁵ arrive à la conclusion que la gestion d'un projet axée sur la recherche de la qualité avait pour effet d'accroître le recours à des actions concrètes en vue de prévenir les accidents de travail. Une autre étude effectuée pour le compte du Construction Industry Institute⁴⁶ relève un certain nombre de pratiques exemplaires qui ont pour effet d'augmenter la sécurité sur les chantiers :

- la haute direction a participé à l'enquête réalisée lors de chaque accident ;
- le président de l'entreprise ou le personnel dirigeant passe personnellement en revue les rapports sur la performance de l'entreprise en matière de sécurité ;

44. Edward J. Janelakis, « Strategies for achieving excellence in construction safety performance », *Journal of Construction Engineering and Management*, mars 1996.

45. Pierre D'Aragnon, Bernard-André Genest et Michel Grant, *Recherche exploratoire sur la relation entre l'orientation qualité et la sécurité dans les projets de construction*, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail, R-132, 1996, 92 p.

46. John Mathis, Bechtel Corporation, « Making Zero Accidents a Reality », *Construction Industry Institute Annual Conference*, 2001.

*Les facteurs
de réduction du
nombre d'accidents*

- la direction et les contremaîtres ont reçu une formation relativement à une supervision adéquate des travailleurs sur le plan de la sécurité ;
- les travailleurs reçoivent une formation sur la sécurité particulière à chaque chantier ;
- les sous-traitants soumettent des plans de sécurité propres au chantier avant le début des travaux ;
- des programmes relatifs aux abus d'alcool ou de drogues sont mis en œuvre.

Tableau 7.12

Facteurs qui ont pour effet de diminuer la fréquence des accidents sur les chantiers selon différentes études

Les équipes travaillent plus rapidement, mieux et de façon plus sécuritaire lorsque les directeurs des travaux ont insisté sur une planification détaillée des travaux avant que ceux-ci ne débutent, que ce soit sur le plan des matériaux, de l'équipement, de la main-d'œuvre et des exigences relatives à la sécurité.

Plus les travailleurs sont au service d'une même firme longtemps, plus la sécurité y augmente.

Plus les contremaîtres mettent en compétition les différentes équipes d'un chantier, plus cela a pour effet d'augmenter la fréquence des accidents. En général, plus les pressions sont fortes pour respecter les échéances ou les budgets, plus la fréquence des accidents s'accélère.

Les propriétaires des édifices qui s'impliquent personnellement en vue d'accroître la sécurité sur les chantiers parviennent à l'augmenter.

Plus une entreprise consacre des ressources à la sécurité, plus elle augmente celle-ci. Exemples de pratiques : embauche d'une personne qui s'y consacre à temps plein, engagement formel de la direction, rencontres avec les contremaîtres sur la sécurité, performance de chaque équipe et du contremaître évaluée à cet égard, formation donnée aux employés sur la sécurité, rencontres régulières sur la sécurité, programme de prévention sur les abus liés à l'usage d'alcool ou de drogues, enquête effectuée à la suite de chaque accident ou d'accidents ayant passé près de survenir, prix remis aux travailleurs et contremaîtres ayant obtenu les meilleurs résultats sur le plan de la sécurité, etc.

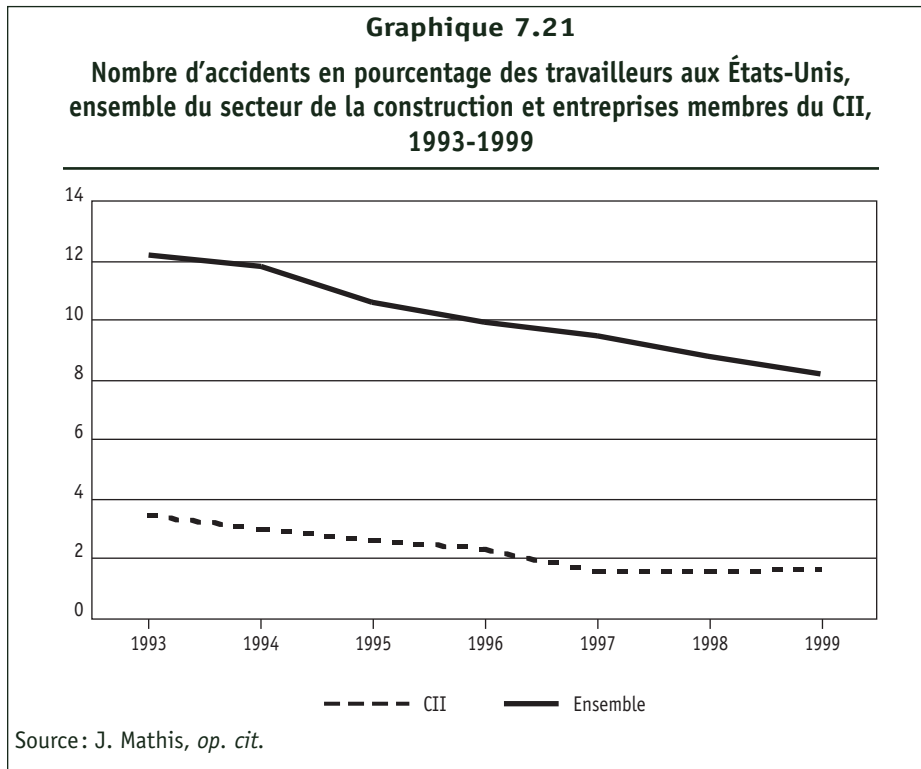
On note moins d'accidents dans les projets qui ont recours à des techniques sophistiquées de planification des travaux.

Le fait que l'entrepreneur général fasse participer les sous-traitants dans les programmes de sécurité a pour effet de diminuer la fréquence des accidents.

Source: E. Janelskis, *op. cit.*

En 1999, alors que le taux d'accidents de l'ensemble des travailleurs de la construction aux États-Unis était de 8,2 %, le pourcentage correspondant pour les entreprises membres du CII n'était que de 1,7 % (graphique 7.21). Il est donc clair que le recours à des méthodes de gestion plus avancées a pour effet de diminuer de façon radicale la fréquence des accidents sur les chantiers de construction.

Le recours à des méthodes de gestion plus avancées s'avère efficace



7.6 Constats

- La nature cyclique et saisonnière de l'industrie ainsi que les conditions difficiles qu'on y observe font que le secteur de la construction doit relever un défi pour attirer, former et conserver une main-d'œuvre de qualité.
- Au cours des années 1990, la main-d'œuvre a certes vieilli, mais la majeure partie des travailleurs sont dans la force de l'âge. Le Québec dispose donc actuellement d'une main-d'œuvre très expérimentée et par conséquent très productive. Mais la relève pose un défi même si la reprise de l'activité économique amorcée depuis deux ou trois ans a incité plusieurs jeunes à s'inscrire dans l'apprentissage d'un métier, sans compter que la porte est maintenant largement ouverte aux personnes sans certificat de compétence. Le défi consistera à retenir et surtout à bien former cette main-d'œuvre.

- Il existe déjà une forte synergie entre tous les acteurs, à savoir les commissions scolaires, le MEQ, les associations patronales et syndicales sous l'égide de la CCQ, pour que la formation colle directement aux besoins de l'industrie et que l'évolution de la technologie soit prise en compte dans les cours proposés. Le système actuel est fortement réglementé, mais il assure que la main-d'œuvre sur les chantiers de construction est compétente.
- Après un faux départ attribuable à une contestation judiciaire, le Fonds de formation pour l'industrie de la construction a pris son envol au cours des deux dernières années. Il dispose d'environ 110 millions de dollars pour assurer la formation permanente de la main-d'œuvre. Le nombre de travailleurs inscrits à des cours a pratiquement doublé en 2002.
- Les quelques études disponibles concluent que l'impact de la syndicalisation sur la productivité dans le secteur de la construction se situerait entre 20 % et 30 % aux États-Unis. La raison la plus plausible en est que les travailleurs syndiqués sont mieux formés. La réglementation du secteur de la construction au Québec peut donc avoir un effet très positif sur la productivité. En effet, pour se qualifier comme apprenti et accéder au secteur, un individu doit avoir suivi une formation dans un centre de formation. De plus, pour se qualifier comme compagnon le travailleur doit avoir effectué un nombre déterminé d'heures de travail comme apprenti et réussir un examen de passage. Par ailleurs, le partenariat entre la CCQ, le MEQ et les centres et écoles de formation permet de s'assurer de la disponibilité des cours ainsi que d'un contenu à jour.
- La productivité du secteur de la construction au Québec est supérieure à celle de l'ensemble des secteurs d'activité économique. De plus, elle est supérieure à celle du Canada. Ces faits ne doivent pas faire oublier que la productivité stagne depuis le début des années 1980.
- Les perspectives d'emploi pour les élèves diplômés des différentes techniques du bâtiment au collégial sont excellentes. De plus, le nombre d'élèves inscrits dans ces techniques augmente.
- Six universités québécoises proposent un programme en génie civil. Cependant, seules Concordia et l'ÉTS dans une moindre mesure offrent un programme complet sur le bâtiment qui comprend non seulement la formation de base en structures, qui est dispensée par l'ensemble des universités, mais également des cours sur l'enveloppe du bâtiment et sur la science du bâtiment en général. En outre, leur large éventail de cours spécialisés en management de la construction les place au même niveau que les quelques universités américaines qui offrent un tel type de programme. Le Québec n'accuse donc pas de retard sur ce plan. Cet avantage devrait être exploité pour chercher à augmenter l'innovation organisationnelle dans ce secteur.

- La décennie 1990 fut difficile pour les trois écoles d'architecture au Québec, comme en témoigne la baisse du nombre de professeurs permanents.
- Il existe tant au Québec que dans l'ensemble du Canada une lacune en ce qui a trait aux rares chaires de recherche dont les activités concernent directement le bâtiment. Cette situation doit absolument être corrigée dans les années à venir.
- La faible croissance démographique forcera à moyen et à long terme les entreprises à se tourner vers les marchés extérieurs. La faiblesse du dollar canadien joue actuellement en leur faveur. Mais une culture propice à l'exportation reste à créer chez les entrepreneurs. De plus, les risques associés à l'exportation peuvent avoir rapidement raison des petites entreprises aux capacités financières réduites.
- Dans le domaine des bâtiments non résidentiels, ce sont les services de conception et de gestion des projets qui sont généralement exportés, les produits locaux et la main-d'œuvre locale étant utilisés dans l'érection des édifices. Dans la construction résidentielle, de plus en plus de composants préfabriqués sont exportés grâce à une industrialisation accrue de la production de composants de plus en plus complexes.
- L'exportation de matériaux de construction simples et de certains composants, comme les armoires de cuisine, les portes et fenêtres, a connu une forte augmentation au cours des cinq dernières années. Cependant le Québec se situe derrière l'Ontario en matière d'exportation de bâtiments préfabriqués en bois. C'est dans le domaine des éléments de charpente métallique que le Québec enregistre sa meilleure performance.
- De plus en plus, les contrats internationaux reposent sur une intégration des différentes phases d'un projet à travers divers dispositifs contractuels comme le *design-build*, le *build-operate-transfer*, le *desing-build-operate-transfer*, de même que sur un partage de risque comme dans le cas des partenariats public-privé, mais, ce type de contrat est encore peu répandu sur le marché intérieur, ce qui prive les firmes canadiennes et québécoises d'une expertise stratégique face aux compétiteurs internationaux. L'expertise de ces dernières se révèle surtout en conception et en design. La compétence technique des ingénieurs canadiens est particulièrement reconnue et les firmes d'ingénieurs-conseils du Québec comptent parmi les plus importantes au monde. Les entreprises canadiennes n'ont toutefois généralement pas accès aux mêmes garanties financières que leurs compétiteurs internationaux et elles sont la plupart du temps moins capitalisées.
- Les études de Forintek montrent que les composants comme les fermes de toit, les murs et les planchers sont de plus en plus utilisés par les constructeurs américains. Les manufacturiers québécois s'ils veulent être compétitifs sur le marché américain se retrouvent dans l'obligation d'accentuer le processus d'automatisation des usines de composants et l'intégration des processus de conception, de fabrication et de distribution.

- L'effort gouvernemental de promotion, d'accompagnement et de jumelage d'entreprises produisant des maisons usinées et des composants s'accroît. Il est particulièrement visible dans le domaine de la maison à ossature de bois, laquelle constitue un marché stratégique pour la technologie canadienne.
- Le secteur de la construction, tant au Québec que dans l'ensemble des pays industrialisés, est soumis à une réglementation abondante. Les principales préoccupations qui ont guidé les gouvernements un peu partout dans le monde en édictant les codes du bâtiment furent de veiller à la sécurité des occupants des bâtiments et d'assurer la durabilité des bâtiments.
- La législation québécoise a aussi cherché à garantir la paix industrielle sur les chantiers de construction et à voir à ce que la main-d'œuvre soit qualifiée. Ces objectifs semblent aujourd'hui atteints.
- Les codes de nature prescriptive peuvent avoir un effet négatif sur l'innovation. La tendance actuelle est aux codes axés sur la performance. Le Canada ainsi que l'ensemble des provinces ont pris la décision d'aller dans cette voie. Les nouveaux codes comprendront deux parties. La première établira les objectifs visés par le code et les exigences fonctionnelles. La deuxième inclura au départ toutes les méthodes et tous les matériaux actuels qui sont familiers aux concepteurs, aux travailleurs, aux entrepreneurs et aux inspecteurs. Pour ce qui est des nouveaux matériaux et des nouvelles méthodes, il incombera à leurs promoteurs de convaincre les autorités que ceux-ci répondent aux objectifs visés par la première partie du code, cela au moyen de tests et de simulations. Au Québec, la Régie du bâtiment vise à ce que le nouveau code soit en vigueur en 2004. Ce changement d'orientation devrait favoriser l'innovation dans le secteur de la construction au cours des décennies à venir.
- Le secteur de la construction a toujours été reconnu comme l'un des secteurs de travail les moins sécuritaires, et ce, un peu partout dans le monde. La performance du Québec laisse ici quelque peu à désirer. De plus, elle fait du surplace, alors qu'elle semble s'améliorer lentement tant en Europe qu'aux États-Unis.
- Un engagement formel des dirigeants des entreprises à l'égard de la sécurité ainsi qu'une bonne planification et une gestion adéquate des chantiers s'avèrent les meilleurs moyens pour diminuer la fréquence des accidents. Le recours à des méthodes de gestion plus avancées et innovatrices a clairement pour effet de diminuer de façon marquée la fréquence des accidents sur les chantiers de construction.

8 Recommandations

La problématique de l'innovation dans le secteur du bâtiment: une synthèse

Le secteur du bâtiment est des plus importants pour l'économie québécoise. D'une part, parce qu'il emploie un grand nombre de travailleurs et qu'il exerce un effet de levier majeur sur l'activité économique générale; d'autre part, parce que la qualité et la durabilité des bâtiments s'avèrent essentielles tant pour les occupants que pour les propriétaires.

Malheureusement, ce secteur innove peu. Plusieurs facteurs se conjuguent pour rendre l'innovation très difficile.

Ainsi, le caractère cyclique du secteur a pour effet de freiner les investissements des entreprises, que ce soit en capital ou en recherche-développement, puisque plusieurs firmes sont fragiles sur le plan financier.

La lacune la plus grave est sans conteste le fait que le secteur est très fragmenté et dominé par les petites firmes. Les entreprises de taille moyenne sont rares au Québec et les grandes entreprises quasi inexistantes, à l'exception des grands fournisseurs de matériaux et de composants. Le secteur de la construction au Canada et au Québec se situe parmi les moins concentrés au monde. La situation s'est même accentuée au cours des dernières années ou décennies. En effet, les entrepreneurs généraux emploient de moins en moins de travailleurs et ils sont en voie de devenir des directeurs de chantier, faisant appel à une kyrielle de sous-traitants pour l'ensemble des travaux. Cette façon de faire complique la gestion des chantiers, n'est pas propice à l'innovation et tend à perpétuer les modes de fonctionnement traditionnels.

De plus, la conjoncture économique difficile de la décennie 1990 a exacerbé la concurrence entre les entrepreneurs généraux et incité ceux-ci à soumissionner à des prix très faibles afin d'obtenir des contrats. Une fois le contrat adjugé, les entrepreneurs devaient exiger des concessions de leurs sous-traitants pour être en mesure de mener le projet à terme. Le climat de confrontation entre les sous-traitants et les entrepreneurs généraux est devenu permanent, ce qui, on le conçoit aisément, est on ne peut plus défavorable à l'innovation.

Les sous-traitants, au Québec, sont très spécialisés. Ils disposent d'un personnel compétent et font preuve de savoir-faire dans leur champ d'expertise respectif. Le problème est qu'ils se limitent aux méthodes traditionnelles, sûres

Un secteur important pour l'économie québécoise

Plusieurs freins à l'innovation dont la grande fragmentation de l'industrie

et éprouvées, qu'ils répètent de projet en projet. Ils ne disposent ni du personnel technique ni des ressources financières pour innover. La compétition étant féroce, les marges de profit sont minimes, ce qui ne leur permet pas de prendre le risque d'innover. Ce mode de fonctionnement offre l'unique avantage de favoriser une assez grande flexibilité sur les chantiers de construction. Les sous-traitants peuvent ainsi plus facilement gérer les imprévus et les changements exigés en cours de route par les entrepreneurs généraux. Cependant, cette flexibilité perturbe la progression du travail et diminue la productivité sur les chantiers.

La fragmentation du projet entre plusieurs sous-traitants rend complexe et ardue la gestion du chantier. La coordination des projets s'effectue de manière informelle et décentralisée. Il s'ensuit que les problèmes s'accumulent tout au long de la chaîne de production parce qu'ils sont souvent laissés aux équipes de travail qui suivent. Il en découle également que les coûts augmentent, que la qualité laisse beaucoup à désirer et que les échéanciers de travail sont le plus souvent bousculés. L'organisation déficiente du travail est clairement reconnue comme étant une cause majeure des problèmes du secteur du bâtiment.

Les données disponibles montrent que l'intensité de la R-D effectuée par les entreprises québécoises est insuffisante. Jusqu'à maintenant, la seule manière d'innover a été d'intégrer de nouveaux matériaux mis au point par les entreprises du secteur manufacturier. Cette façon de faire a permis de faire progresser la productivité de manière substantielle jusqu'au début des années 1970, mais on assiste depuis lors à un plafonnement à cet égard en raison, surtout, de la diminution des innovations chez les fournisseurs de matériaux.

Des changements importants en cours dans les autres pays

Il est frappant de constater qu'au cours des dernières années les entreprises du secteur du bâtiment des différents pays européens, du Japon ainsi que des États-Unis ont fortement intensifié leurs efforts en vue d'innover davantage. Les solutions retenues pour stimuler l'innovation dans ce secteur diffèrent d'un pays à l'autre. Toutefois, certaines tendances se dégagent.

Au Japon, c'est le gouvernement qui a encouragé l'innovation chez les grandes entreprises en exigeant de ces dernières qu'elles effectuent de la R-D pour se qualifier dans les projets publics. Les firmes japonaises de construction sont devenues les championnes mondiales à ce titre.

Dans les pays européens, les gouvernements ont aussi grandement favorisé l'innovation, et ce, de plusieurs manières. En général, à l'exception du Royaume-Uni, ils apportent un large financement aux centres de recherche publics. C'est entre autres le cas de la France, qui finance abondamment la recherche publique et qui stimule également la recherche des entreprises avec le Plan Urbanisme, Construction et Architecture.

Plusieurs pays favorisent de plus en plus l'innovation

De plus, l'ensemble des gouvernements européens poussent les entreprises à collaborer avec les centres de recherche publics ainsi qu'avec les universités. Pour y parvenir, les projets de démonstration sont privilégiés. À cette fin, les autorités ont recours à des programmes de subvention spéciaux. Le cas de la Finlande est fort intéressant. Les entreprises, les centres de recherche publics ainsi que les universités y ont élaboré conjointement une stratégie de recherche et d'innovation. Le gouvernement a appuyé concrètement cette initiative en apportant des fonds substantiels à sa mise en œuvre. Dans les pays scandinaves en général, des sommes importantes sont consacrées à la recherche menée en collaboration par les trois groupes d'acteurs.

Au Royaume-Uni, tant les entreprises que le gouvernement cherchent à intensifier l'innovation. Le gouvernement britannique a procédé à une réflexion en profondeur sur ses pratiques d'achat en construction et les a modifiées de manière à stimuler l'innovation. Concrètement, cette nouvelle politique d'achat s'incarne dans des projets de démonstration réalisés par les entreprises pour le gouvernement.

Aux États-Unis, les grandes entreprises de construction se sont alliées avec de grandes entreprises clientes, avec des universités ainsi qu'avec des ministères du gouvernement fédéral, notamment le ministère de la Défense, pour créer un centre de recherche consacré à l'innovation sur le bâtiment, le Construction Industry Institute (CII). Ce centre utilise essentiellement des projets de démonstration pour amener les entreprises à innover.

Ainsi, dans tous les pays, le gouvernement a joué un rôle essentiel soit en modifiant sa politique d'achat, soit en apportant un financement abondant à la recherche publique ou réalisée en partenariat, soit encore en s'associant avec les entreprises, les centres de recherche publics et universitaires pour définir et mettre en place une stratégie d'innovation qui s'articule autour des grandes tendances actuelles (organisation du travail, bâtiment durable, industrialisation du processus, recours aux TI). Ces nombreuses initiatives portent de plus en plus leurs fruits.

Le cas du Canada et du Québec: un vigoureux coup de barre s'impose

La situation du secteur du bâtiment s'avère problématique au Québec et au Canada. En effet, contrairement à ce qu'on observe dans la plupart des autres pays industrialisés, on n'assiste pas ici à une intensification des efforts de recherche des entreprises, ou sinon trop peu. L'appui des gouvernements est faible ou mal adapté: manifestement, les crédits d'impôt à la R-D, généreux par ailleurs, n'ont pas suffisamment stimulé la recherche dans la construction. D'autres moyens sont nécessaires pour encourager l'innovation et le rôle du gouvernement sera capital. Un vigoureux coup de barre s'impose et la situation est urgente.

La plus grande faiblesse de l'industrie de la construction au Québec est indéniablement sa fragmentation considérable et l'absence de grandes firmes intégrées. Cette fragmentation évidente, conjuguée à la nature très cyclique de

Les projets de démonstration en partenariat prisés par plusieurs gouvernements européens

Le Québec tarde à innover

l'industrie, fait en sorte que les entreprises ne disposent que d'une infime marge de manœuvre financière pour consacrer des ressources à la recherche ou à l'innovation.

Le financement de la recherche de la part du gouvernement fédéral demeure modeste comparativement à celui des pays européens et celui du Québec a considérablement diminué au cours des dernières années.

Quant à la recherche universitaire dans le secteur du bâtiment, elle est largement insuffisante. Il n'y a guère que l'Université Concordia, avec son Centre de recherche sur le bâtiment, qui effectue de la recherche sur le bâtiment.

Pourtant, le secteur québécois dispose de quelques atouts par rapport aux autres pays, en particulier la qualité de sa main-d'œuvre. La réglementation dans ce secteur a permis d'assurer une stabilité et une formation appropriée de la main-d'œuvre, par opposition à ce que l'on observe aux États-Unis, où la main-d'œuvre est mobile et par conséquent moins expérimentée et moins productive. Un autre point fort du Québec est le climat favorable qui règne dans les relations de travail. Cette situation contraste avec celle du début des années 1970. Les interventions du gouvernement du Québec, tant sur le plan des relations de travail qu'au chapitre de la formation de la main-d'œuvre, ont donc été efficaces. La réglementation imposée a favorisé le partenariat entre le gouvernement, les associations patronales et les syndicats et a apporté des bénéfices concrets. Cette concertation n'est sûrement pas étrangère au fait que la productivité est plus élevée dans ce secteur que dans l'ensemble des industries québécoises et qu'elle est supérieure à celle des autres provinces. Ce fait ne doit toutefois pas nous faire oublier que la productivité stagne depuis une vingtaine d'années.

Le passage prochain à un code du bâtiment axé sur la performance sera également favorable à l'innovation. Il devrait en effet accélérer l'introduction de nouveaux matériaux et de nouvelles méthodes.

La proximité du vaste marché américain, le fait que le Québec dispose du seul centre universitaire intégré sur le bâtiment au Canada, la force des grandes entreprises dans le secteur des charpentes métalliques, le soutien des producteurs de bois d'œuvre au centre de recherche Forintek et la présence de plusieurs entreprises actives en préfabrication sont également des facteurs positifs susceptibles de favoriser l'innovation dans le bâtiment. Ces avantages ne pourront être pleinement exploités sans que les différents acteurs se donnent une vision cohérente de l'avenir de l'industrie.

Que faire pour stimuler l'innovation dans le secteur du bâtiment?

L'initiative pour stimuler l'innovation revient avant tout au gouvernement, car le secteur est trop fragmenté au Québec pour qu'on puisse espérer que les entreprises s'y emploient elles-mêmes dans un avenir rapproché. Le Conseil de la science et de la technologie propose donc une stratégie en trois volets:

Le Québec dispose pourtant d'atouts par rapport aux autres pays

Le gouvernement doit prendre les devants

1. Créer un centre de recherche, de démonstration et de transfert en innovation sur le bâtiment.
2. Modifier les politiques d'achat public de manière à favoriser l'innovation.
3. Intensifier la recherche universitaire ainsi que la formation d'étudiants dans le secteur du bâtiment.

*Une stratégie
d'innovation en
trois volets*

La création du centre de recherche, de démonstration et de transfert en innovation sur le bâtiment

Les entreprises ne font pas assez de recherche et elles n'emploient pas suffisamment de personnel hautement qualifié formé aux nouvelles technologies. Le cloisonnement des activités de conception, de fabrication et de construction retarde l'émergence d'une culture d'innovation comparable à celle du secteur manufacturier. Si l'on veut amener les entreprises québécoises à innover davantage, il va falloir faire en sorte qu'elles intensifient le recours à recherche et à l'expérimentation pour améliorer leur performance.

*Nécessité d'un
recours accru à
la recherche et
à l'expérimentation*

Une des forces des entreprises manufacturières est précisément le fait qu'en contrôlant elles-mêmes toutes les étapes de production, des études de marketing à la conception, à la fabrication et à la distribution, elles peuvent innover plus facilement. Il faut donc pallier à ce manque d'intégration des entreprises, ce qui se révèle un sérieux défi.

Il faut modifier la manière dont les projets de construction sont actuellement gérés au Québec. Les entreprises hésitent à innover dans leurs pratiques d'organisation du travail sur les chantiers, alors que la plupart des autres pays ont pris une longueur d'avance. À cet égard, des projets de démonstration sont absolument nécessaires. C'est la meilleure façon pour les entreprises d'augmenter leur savoir-faire et, pour les centres de recherche universitaires ou publics, de transmettre leur expertise. Pour ce qui est du volet organisation du travail, ce sont les firmes elles-mêmes qui doivent le prendre en charge et expérimenter au moyen de projets de démonstration ou en ayant recours à une expertise extérieure pour évaluer la conduite de leurs projets.

Il faut également intensifier la recherche effectuée en collaboration par les entreprises, les universités et les centres de recherche publics. En effet, les chercheurs universitaires ainsi que ceux des centres de recherche publics se plaignent que leurs travaux ne trouvent pas preneur auprès des entreprises. De leur côté, les entreprises se méfient des travaux de recherche universitaires, qu'elles perçoivent comme étant trop éloignés de leurs besoins. Les deux groupes auraient mutuellement intérêt à collaborer davantage, par l'intermédiaire de projets de recherche concrets. Le transfert d'expertise pourrait alors s'effectuer d'une manière toute naturelle.

La réglementation du secteur de la construction a eu des effets positifs en créant des lieux de concertation entre les associations patronales et syndicales ainsi qu'avec les centres de formation et le ministère de l'Éducation. Ce qui

manque actuellement au Québec, c'est un lieu de concertation en matière d'innovation de tous les acteurs concernés (clients des grandes sociétés immobilières, clients gouvernementaux comme la Société immobilière du Québec [SIQ] et Travaux publics Canada, firmes de construction d'une certaine ampleur, associations patronales, centres de recherche universitaires et publics voués au bâtiment, ingénieurs et architectes novateurs, etc.), lieu qui va permettre de définir les objectifs à atteindre et les moyens concrets d'y parvenir.

Trois missions complémentaires au centre: projets de démonstration, recherche et réseautage

La création d'un *centre de recherche, de démonstration et de transfert en innovation sur le bâtiment* permettrait d'instaurer un lieu d'échange et d'expérimentation en matière de développement technologique et d'innovation et d'amorcer le développement d'une culture de l'innovation dans les entreprises du secteur de la construction.

Pour y parvenir, ce centre poursuivrait trois grandes missions :

1. La *première mission* serait de financer des projets de démonstration réalisés par les entreprises en partenariat avec des clients du secteur public ou privé ainsi qu'avec des chercheurs universitaires.
2. La *deuxième mission* serait de financer des projets de recherche réalisés directement par les entreprises, ou conjointement par les entreprises et des centres de recherche universitaires ou publics.
3. La *troisième mission* serait de favoriser le réseautage des entreprises, d'effectuer des activités de veille sur les innovations (matériaux, pratiques organisationnelles, composants, nouveaux systèmes, etc.) pour le compte des entreprises, de transmettre le plus largement possible aux entreprises les résultats de recherches réalisées sous l'égide du centre, de servir de lieu d'échange, de rencontre, de discussion sur les développements technologiques, sur les enjeux auxquels est confronté le secteur sur le plan technologique, d'entretenir des relations fécondes avec des centres similaires à l'étranger, etc.

Une clé du centre: le partenariat

Le centre ne disposerait pas d'installations de recherche et il n'effectuerait pas de recherche à l'interne. Il disposerait par contre d'un budget annuel substantiel pour financer des projets de démonstration et de recherche.

Un objectif fondamental de ce centre serait de favoriser les partenariats et la collaboration entre les entreprises, les chercheurs universitaires et les centres de recherche publics et semi-publics. C'est la meilleure façon de s'assurer que les travaux de recherche sont bien orientés vers les besoins des entreprises et, surtout, trouvent preneur parmi celles-ci.

Le conseil d'administration aurait pour rôle de déterminer les grandes orientations du centre de recherche, d'adopter les priorités de recherche et le plan de travail, de donner son aval à la réalisation de projets, etc. Pour la sélection des projets, le centre pourrait s'il le désire se faire assister par des comités d'experts issus de différents milieux. Seraient admissibles aux subventions les projets présentés par les entreprises et par les centres de recherche universitaires

ou publics. Cependant, la priorité devrait aller aux projets de recherche mixtes de manière à stimuler les interactions entre ces trois groupes d'acteurs.

Ce centre serait doté d'une permanence composée d'une dizaine de professionnels d'horizons différents. La fonction du personnel permanent serait essentiellement d'établir un plan stratégique pour le développement de l'innovation dans le secteur, comprenant des axes prioritaires et des cibles à atteindre. Ce personnel pourrait également aider à la sélection des projets de recherche et de démonstration, appuyer le montage des projets (trouver les partenaires, les mettre en contact, aider à monter le financement, etc.), suivre leur évolution, documenter et diffuser les résultats de ces projets, effectuer une veille technologique, réaliser des études de marché à l'occasion (par exemple sur les marchés extérieurs) et tisser des liens avec les centres étrangers les plus performants.

*Un plan stratégique
du secteur*

Le but est de faire état auprès de l'ensemble de l'industrie des succès (et échecs lorsque c'est le cas) des nouvelles pratiques d'organisation du travail sur les chantiers, de l'usage de nouveaux matériaux et systèmes de construction, etc. À cet effet, le centre publierait des études, des documents de vulgarisation, des rapports de veille, etc. Il organiserait régulièrement des rencontres avec les différents intervenants du secteur pour les mettre en contact et leur transmettre les résultats des divers projets. Il organiserait des colloques, des séminaires, une rencontre annuelle réunissant le plus grand nombre possible d'intervenants.

*Un centre
qui diffuse
et qui transfère
les résultats*

Il en ressortirait au fil des ans un répertoire des meilleures pratiques qui se diffuseraient progressivement dans l'ensemble des entreprises, d'abord vers les plus grandes, puis vers les moyennes et progressivement vers les plus petites. Tant le secteur résidentiel que le secteur non résidentiel seraient visés par les travaux du centre.

En raison de l'importance du secteur de la construction et de ses immenses besoins, un tel centre devrait disposer d'un budget annuel substantiel, d'au moins 10 à 15 millions de dollars, dont la plus grande part serait consacrée à la recherche et aux projets de démonstration. La structure du financement pourrait être la suivante :

- 1,5 M\$ à 2 M\$ pour assurer le fonctionnement de la permanence du centre. Les deux tiers proviendraient du gouvernement du Québec et l'autre tiers des associations patronales et syndicales, ainsi que des moyennes entreprises. Les grandes firmes d'ingénierie-conseil pourraient être invitées à participer ;
- 8 M\$ à 10 M\$ proviendraient des gouvernements fédéral et québécois. Ces montants seraient consacrés au programme finançant les projets de recherche et de démonstration.

Ces montants viendront s'ajouter aux sommes investies par les entreprises et créeront un effet de levier, d'une part, sur les investissements industriels en R-D et, d'autre part, sur le financement de la recherche universitaire par les organismes subventionnaires comme le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG).

La participation financière du gouvernement fédéral serait essentielle; elle pourrait venir de Développement économique Canada dans le cadre de ses programmes existants.

Quelques exemples de projets qui seraient admissibles au centre

Parmi les types de projets admissibles au programme interne de subventions, mentionnons:

- l'exécution de projets de démonstration visant à valider les gains de productivité promis grâce à l'apport de nouveaux composants, de nouveaux systèmes de construction ou de nouveaux modes d'organisation du travail sur les chantiers (recours à la conception-construction [*design-build*], au partenariat, au *Build-Own-Operate-Transfer*, etc.);
- l'utilisation de nouvelles techniques de production manufacturière (*lean construction*, gestion de la chaîne logistique, juste-à-temps, ingénierie concurrente), en vue de favoriser l'intégration des processus de travail;
- la conception et la fabrication de composants de bâtiment plus complexes et mieux intégrés dans des systèmes de construction répondant aux nouvelles exigences du développement durable: efficacité énergétique, prise en compte du cycle de vie du produit, impact sur l'environnement et la santé, etc.;
- l'élaboration de méthodes performantes de transport, d'assemblage ou de déconstruction de composants (par exemple: nouvelles méthodes de fixation, réduction du poids des composants, conception de composants plus faciles à manipuler sur le chantier...);
- la création d'outils de conception et de design (CAO, 3D, 4D, représentation numérique de composants et de systèmes de construction, modélisation et simulation...);
- des études de marché visant à connaître les besoins des acheteurs sur les marchés intérieurs et internationaux.

Une complémentarité du centre avec les centres de recherches publics et universitaires

Par ailleurs, il est important d'éviter les chevauchements avec les centres de recherche publics ou universitaires. Seraient donc exclus de ce programme les projets portant sur la recherche fondamentale en science des matériaux (par exemple: béton à haute performance) ou sur des composants peu complexes ou non intégrés à des systèmes de construction (par exemple: nouveau genre de panneau ou de brique, nouvel outil d'installation d'un composant, nouvel isolant).

Il est essentiel que ce centre réponde aux besoins des entreprises, tant des constructeurs que des clients. Afin de s'assurer que c'est bien le cas, les membres du centre devraient regrouper des représentants des entreprises de construction ainsi que des grandes entreprises clientes. Se joindront à eux des chercheurs universitaires, des chercheurs des centres de recherche publics ainsi que des représentants gouvernementaux. Nous pensons, notamment, aux associations patronales de la construction, à savoir l'Association de la construction du Québec, l'Association patronale des entreprises en construction du Québec et l'Association

provinciale des constructeurs d'habitations du Québec. Les associations syndicales devraient aussi être invitées à devenir membres. Pour ce qui est des clients, mentionnons la Société immobilière du Québec, la Corporation d'hébergement du Québec, la Société immobilière Trans-Québec (le bras immobilier de la Caisse de dépôt et placement), de grands promoteurs immobiliers du secteur privé, etc. Parmi les représentants gouvernementaux, mentionnons la Commission de la construction du Québec, la Société d'habitation du Québec, la Société centrale d'hypothèque et de logement et l'Institut de la recherche en construction du CNRC, un représentant du PARI, un représentant du nouveau ministère des Finances, de l'Économie et de la Recherche. Enfin, des représentants de l'Ordre des architectes et de l'Ordre des ingénieurs ainsi que des ingénieurs et architectes novateurs seraient également les bienvenus. Le conseil d'administration serait nommé par les membres.

Le centre pourrait s'inspirer du mode de fonctionnement de l'Institut des matériaux industriels du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) qui a formé des groupes d'intérêts réunissant plusieurs PME autour de projets de recherche. C'est une excellente façon de susciter l'intérêt des entreprises, de les amener à s'impliquer et de s'assurer que les résultats des travaux de recherche vont trouver preneur.

En créant un tel centre, le Québec mettrait en place un mécanisme puissant et unique au Canada pour stimuler l'innovation au sein des entreprises québécoises du secteur du bâtiment.

D'ailleurs, la création d'un tel centre et son mode de fonctionnement ne constituent pas une première au Québec, puisque le Centre québécois de recherche et de développement de l'aluminium (CQRDA) joue sensiblement le même rôle pour le secteur de la transformation de l'aluminium au Québec. Le CQRDA dispose d'une enveloppe budgétaire pour faire réaliser des projets de recherche tant dans les entreprises que dans le milieu universitaire. Il effectue de la veille technologique et joue un rôle de diffusion des connaissances et d'animation du milieu.

Pour procéder à la création d'un tel centre, il faut avant tout que le milieu se montre intéressé, que l'ensemble des intervenants soit disposé à s'engager activement dans sa mise sur pied ainsi que dans son fonctionnement ultérieur. C'est pourquoi le gouvernement devrait faire part aux intervenants de son intention de leur allouer un montant substantiel en vue de créer le centre, à la condition que le milieu se concerta, manifeste son intérêt et s'implique.

Les principaux acteurs invités à se joindre au centre

Recommandation 1

Que la ministre des Finances, de l'Économie et de la Recherche s'associe à l'industrie de la construction en vue de créer un centre de recherche, de démonstration et de transfert en innovation sur le bâtiment, en partenariat avec les entreprises clientes ainsi qu'avec les autres intervenants concernés de ce secteur.

Le gouvernement fédéral est également convié à participer activement à ce vaste chantier. Jusqu'ici, ses interventions dans le domaine du bâtiment se sont avérées pertinentes (notamment le rôle joué par l'IRC et la SCHL). Cependant, une intensification des efforts financiers consacrés au secteur du bâtiment apparaît indispensable pour que les firmes canadiennes et québécoises affrontent avec succès la concurrence tant sur les marchés intérieurs qu'internationaux.

Il pourrait également intensifier la recherche dans son propre centre (l'Institut de recherche en construction), ce qui lui permettrait d'appuyer les efforts du centre québécois et favoriserait la diffusion des résultats des travaux de recherche de l'IRC auprès des entreprises québécoises. Les deux centres, loin d'être en concurrence, pourraient participer conjointement à l'intensification de la recherche et de l'innovation dans les entreprises canadiennes et québécoises.

Enfin, Travaux publics et services gouvernementaux Canada devrait poursuivre ses efforts en vue de favoriser le plus possible l'innovation au moyen de ses projets de construction au Québec.

Une politique d'achat qui stimule l'innovation

*La politique d'achat,
un puissant levier*

La politique d'achat du gouvernement constitue un puissant levier pour favoriser l'innovation. Le gouvernement japonais l'a fort bien compris en exigeant des entreprises qu'elles effectuent de la recherche pour se qualifier sur les projets publics. Le gouvernement britannique opère actuellement de profonds changements dans ses politiques d'achat en construction, et ce, tout en s'assurant que cela ne se fera pas au détriment des finances publiques, de la transparence et de l'équité.

La deuxième recommandation la plus susceptible de favoriser l'innovation est que le gouvernement du Québec utilise son pouvoir d'achat pour inciter les firmes québécoises de ce secteur à innover davantage. En effet, le gouvernement du Québec constitue avec les réseaux de l'éducation et de la santé un client majeur des travaux de construction. Il suffit de penser à des projets d'envergure comme la construction de la Grande Bibliothèque, l'agrandissement du Palais des congrès à Montréal, la construction éventuelle des deux super-hôpitaux à Montréal pour s'en convaincre.

La politique d'achat, notamment en ce qui a trait aux processus d'appel d'offres et d'adjudication des contrats, a fait l'objet de plusieurs réflexions au cours des dernières années, plus particulièrement au Conseil du trésor. Cette politique balise les pratiques de nombreux intervenants, à savoir celles de la SIQ, de la Corporation d'hébergement du Québec, des commissions scolaires, des cégeps, des universités, des sociétés d'État et des municipalités. De plus, le Québec doit respecter les engagements qu'il a pris dans le cadre de l'ALENA et de l'Accord interprovincial sur le commerce intérieur. En somme, il s'agit d'une question très complexe. Le gouvernement devra donc revoir ses politiques actuelles en matière d'appels d'offres et d'adjudication des contrats en construction.

Travaux publics et services gouvernementaux Canada a, semble-t-il, modifié récemment son mode de fonctionnement en vue d'atteindre certains objectifs comme le développement durable ou une plus grande sécurité sur les chantiers. Bien que Travaux publics et services gouvernementaux Canada soit un moins gros client que le gouvernement du Québec dans le secteur du bâtiment, sa volonté d'innover en fait un intervenant dont les actions devraient renforcer celles du centre proposé.

Le Conseil recommande donc que le gouvernement québécois utilise sa politique d'achat afin de stimuler l'innovation dans le secteur de la construction, tout en respectant, évidemment, les accords conclus avec les autres provinces et pays. Pour y parvenir, le gouvernement pourra mettre sur pied un groupe de travail qui procédera à une réflexion approfondie avec l'aide des différents intervenants concernés. Les travaux de ce groupe de travail devraient s'inspirer des expériences étrangères, en particulier celle du gouvernement britannique. Le groupe se pencherait notamment sur le mandat de la Société immobilière du Québec et de la Corporation d'hébergement du Québec, qui est actuellement d'obtenir le meilleur rapport qualité-prix sans égard à l'innovation. À court terme, ces deux objectifs peuvent facilement entrer en conflit. Le leadership doit venir des autorités politiques, qui transmettront officiellement leurs priorités aux gestionnaires chargés de la gestion du parc immobilier du gouvernement et des réseaux de la santé et de l'éducation.

Ce groupe de travail serait chargé d'examiner les mesures les plus susceptibles de favoriser l'innovation. À cet égard, le gouvernement pourrait devenir un client exemplaire, en accordant par exemple davantage de temps au moment de la période des appels d'offres dans le cas de travaux majeurs. Les équipes de conception pourraient ainsi soumettre différentes propositions et présenter des projets vraiment innovateurs (méthodes de construction, matériaux, etc.).

Enfin, ce groupe de travail pourrait considérer sérieusement la possibilité de reprendre et d'adapter la politique du 1 % de la valeur du bâtiment consacré aux arts et à la culture. Cette politique a eu des retombées notables. Si un pourcentage minimal, disons 3 %, de la valeur d'un édifice public, devait être consacré à l'innovation, cela aurait pour effet de créer un marché pour des innovations dont plusieurs naîtraient au Québec même.

*Une réflexion
à faire avec
les intervenants
concernés*

*Un pourcentage
de la valeur d'un
édifice consacré
à l'innovation*

Ce groupe de travail regrouperait le Conseil du trésor, la Société immobilière du Québec, la Corporation d'hébergement du Québec, l'Association de la construction du Québec, l'Association des constructeurs de routes et de grands travaux du Québec, l'Association patronale des entreprises en construction du Québec, des représentants des municipalités et des réseaux de l'éducation, ainsi que des architectes et des ingénieurs reconnus pour leur capacité innovante.

Recommandation 2

Que le président du Conseil du trésor élabore une politique d'achat visant à stimuler l'innovation dans l'industrie de la construction.

Intensifier la recherche et l'enseignement universitaire sur le bâtiment

Stimuler la recherche universitaire et former plus d'étudiants.

Le troisième objectif à atteindre afin de stimuler l'innovation dans le secteur de la construction est d'intensifier la recherche universitaire sur le bâtiment ainsi que de former davantage d'étudiants spécialisés dans ce domaine. Cela concerne principalement les universités ainsi que les gouvernements fédéral et québécois.

En effet, la recherche en bâtiment occupe une place mineure dans la recherche universitaire. Certes, il s'agit d'une recherche on ne peut plus appliquée, dans un secteur perçu à tort comme moins prestigieux que d'autres. Pourtant, l'industrie de la construction représente près de 9 % du PIB, mais elle tarde à innover pour les multiples raisons qu'on a déjà mentionnées. La recherche universitaire sur le bâtiment doit être intensifiée rapidement. Le Québec dispose du seul centre de recherche universitaire au Canada spécialisé dans ce domaine, à savoir le Centre d'études sur le bâtiment de l'Université Concordia. Son financement laisse toutefois fortement à désirer. De plus, le nombre de chercheurs universitaires actifs en recherche sur le bâtiment est trop faible au Québec.

La création d'un centre doté d'une enveloppe consacrée au financement de projets de recherche stimulera la recherche universitaire. Cependant, les projets financés seraient forcément de nature très appliquée, ce qui laisse en plan la recherche universitaire de nature plus fondamentale ou n'ayant qu'un potentiel d'application à moyen et à long terme. Cette recherche est néanmoins essentielle et les entreprises ne peuvent la financer seules. C'est pourquoi il faut que les organismes subventionnaires accroissent leur soutien à la recherche universitaire sur le bâtiment.

La meilleure façon d'intensifier la recherche dans ce domaine est de voir à augmenter le nombre et la qualité des professeurs-chercheurs qui s'y intéressent. À cet égard, l'appui des universités est essentiel, car ce sont elles qui déterminent les priorités d'embauche et qui soutiennent les demandes pour les chaires de recherche auprès du gouvernement fédéral. Il est important que les directions universitaires reconnaissent l'importance de mener une recherche active et de

haut calibre liée au bâtiment et qu'elles soutiennent les initiatives des professeurs qui cherchent à renforcer l'expertise de leur département ou centre de recherche dans ce domaine.

Les chaires de recherche sont un bon moyen d'encourager le recrutement de nouveaux professeurs dans ce domaine, québécois ou étrangers. L'Université Concordia et l'École de technologie supérieure sont ici particulièrement visées.

Recommandation 3

Que les universités et les organismes subventionnaires cherchent à intensifier l'enseignement et la recherche sur le bâtiment.

Moyens:

- pour les universités, en demandant la création de chaires de recherche sur le bâtiment;
- pour les universités, en accordant la priorité à l'embauche de professeurs spécialisés en bâtiment;
- pour les conseils subventionnaires, en consacrant une enveloppe au secteur du bâtiment.

Conclusion

La création d'un centre en innovation, une modification substantielle des politiques publiques d'achat ainsi qu'un renforcement de l'enseignement et de la recherche universitaire sur le bâtiment permettraient de stimuler l'innovation dans le secteur. Ces changements contribueraient à modifier les processus actuels de production en favorisant le recours à la recherche, à la réalisation de projets innovateurs mixtes et à la diffusion de résultats d'expériences concluantes. C'est essentiel si l'on veut que le secteur augmente sa productivité et qu'il demeure compétitif au niveau mondial.

Le Québec ne peut se permettre de laisser à elle-même une industrie aussi importante qui a jusqu'ici peu innové. Le leadership doit provenir des gouvernements et, à ce titre, c'est le gouvernement du Québec qui a le plus grand rôle à jouer.

Il aurait été possible de formuler d'autres recommandations plus spécifiques, à la suite des nombreux constats rapportés à la fin des chapitres antérieurs. Le Conseil de la science et de la technologie a voulu que l'attention des décideurs se concentre sur ses trois recommandations, qu'il juge centrales dans une perspective de modification des attitudes dans le bâtiment, afin de maximiser la rentabilité de ce secteur et, ultérieurement, ses retombées pour le Québec.

Bibliographie

- Abudayyeh, Osama *et al.*, *Construction Engineering and Management Undergraduate Education*, 1996, p. 169-175.
- Adam, Johanne, *La construction domiciliaire québécoise dans le monde – Les services de la SHQ, SCHL et du MIC*, <<http://exportqc.com/>>.
- Agence de l'efficacité énergétique, *Plan de développement 2000-2001*, 2000, 42 p.
- Albern, William F., *Factory Constructed Housing Developments – Planning, Design and Construction*, CRC Press, 1997, 236 p.
- Allen, Steven G., « Unionization and productivity in office building and school construction », *Industrial and Labor Relations Review*, vol. 39, n° 2, 1986, p. 187-201.
- Allen, Steven G., « Unionized construction workers are more productive », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 99, 1984, p. 251-274.
- Allie, Émile, *Impact des nouvelles technologies sur la structure économique du Québec : la construction*, INRS-Urbanisation, 1988.
- Allmon, Eric *et al.*, « U.S. construction labor productivity trends, 1970-1998 », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 126, n° 2, 2000, p. 97-104.
- Amable, Bruno, Rémi Barré et Robert Boyer, *Les systèmes d'innovation à l'ère de la globalisation*, Paris, Economica, 1997, 401 p.
- American Society of Civil Engineers, *American Society of Civil Engineers Fiscal Year 2002 Appropriations testimony on the U.S. Department of Commerce*, 2001, <www.asce.org/pdf/commercefy02.pdf>.
- Amtra/World Business, *Housing Task Force Export Strategies (vol. 1 et 2) – Individual Workshop Reports, Consolidated Findings*, Canada Mortgage and Housing Corporation, 1994.
- Anderson, Frances, Cathy Bakker et André Manseau, *Does Organizational Innovation Provide Competitive Advantage in the Construction Industry?* Presentation at the Statistics Canada Economic Conference 2002 : Innovation in An Evolving Economy, May 6-7, 2002.

- Anderson, Frances et Susan Schaan, *Innovation, Advanced Technologies and Practices in the Construction and Related Industries: Provincial Estimates*, Statistiques Canada, 2001.
- Anderson, Frances et Susan Schaan, *Innovation, Advanced Technologies and Practices in the Construction and Related Industries: National Estimates*, Statistiques Canada, 2001.
- ARA Consulting Goup, *Nature of Innovation in the Canadian Construction Industry*, Institut de recherche en construction, 1997, 40 p.
- Arbour, Luc, *L'innovation au sein de l'industrie québécoise de la construction: le cas du secteur résidentiel*, École des Hautes Études commerciales, 1997, 97 p.
- Association de la construction du Québec, *Le statu quo n'est plus possible*, 2001, 10 p.
- Association de la construction du Québec, *Une clarification qui s'impose*, 2002, 10 p.
- Atkin, Brian, *Innovation in the Construction Sector*, European Council for Construction Research, Development and Innovation, 1999, 64 p.
- Atkin, Brian et Robert Wing, *Futurehome – Manufactured Housing for Europe*, 1999, 6 p.
- Augenbroe, Godfried et Annie R. Pearce, *Sustainable Construction in the United States of America*, Georgia Institute of Technology, 1998, 32 p.
- Baba, Keizo, « Principal nature of management in Japanese construction industry », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 116, n° 2, 1990, p. 351-365.
- Bakens, Wim, « International trends in building and construction research », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 123, n° 2, 1997, p. 102-104.
- Baldwin, John R. et al., *Différences de productivité entre les provinces*, Statistique Canada, 2001, 39 p.
- Baldwin, John R. et al., *Croissance de la productivité au Canada*, Statistique Canada, 2001, 214 p.
- Bardin, Sylvie, Gérard Blachère et Colin H. Davidson, « Are research results used in practice? », *Building Research & Information*, 1993.
- Barlow, James et David Gann, *A Changing Sense Of Place: Are Integrated IT Systems Reshaping Home?*, Paper presented to the Technological Futures, Urban Futures Conference, Durham, 23-24 April 1998. SPRU Electronic Working Paper No. 18, 1998, 23 p.

- Barlow, James et Tim Venables, *Housing and Construction Needs: Identifying Missing Research Needs and Opportunities*, SPRU, 2000, 35 p.
- Barlow, James, Partnering, *Lean Production and the High Performance Workplace*, IGLC-4, 1996.
- Barlow, James, « Innovation and learning in complex offshore construction projects », *Research Policy*, vol. 29, 2000, p. 973-989.
- Barnett, Robert, « Better building blocks », *Building Design and Construction*, vol. 40, n° 2, 1999, p. 82.
- Bauer, Dominique, *Utilisation du logiciel de calcul structural SAFI dans les cours de structures au Département de génie de la construction*, 2000, 5 p.
- Bazjanac, Vladimir et Drury Crawley, *The Implementation of Industry Foundation Classes in Simulation Tools for the Building Industry*, s. d., 8 p.
- Bennett, John, Ellen Potheary et Graham Robinson, *Designing and Building a World-class Industry*, Center for Strategic Studies in Construction, University of Reading, 1996, 35 p.
- Bickley, John A. et Denis Mitchell, *A State-of-the-Art Review of High Performance Concrete Structures Built in Canada: 1990-2000*, Cement Association of Canada, 2001, 122 p.
- Billion, Roland, *Comprendre les concepts des IFC, Décrire son projet en vue des échanges*, Media@construct, 1999, 34 p.
- Björk, Bo-Christer, « Information Technology in Construction ». Article soumis à *l'International Journal of Computer-Integrated Design and Construction*, 1997, 18 p.
- Blais, Pamela, *La révolution de l'information et l'aménagement résidentiel*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 2000, 29 p.
- Boris, Mireille, *L'expérience Music Project de Seattle*, 2001, <<http://mireille.boris.free.fr/an2001.html>>.
- Bourdeau, Luc, « Sustainable development and the future of construction: A comparison of visions from various countries », *Building Research and Information*, vol. 27, n° 6, 1999, p. 354-366.
- Bremer, W. et K. Kok, « The Dutch construction industry: A combination of competition and corporatism », *Building Research & Information*, vol. 28, n° 2, 2000, p. 98-108.
- Brousseau, Éric et Alain Rallet, « Efficacité et inefficacité de l'organisation du bâtiment », *Revue d'économie industrielle*, n° 74, 1995, p. 9-31.
- Brunelle, Paul, *Bâtiments résidentiels manufacturés à ossature de bois au Québec en 1991*, ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie, 1992, 28 p.

- Brunet, Laurian, *Corvée-habitation – A Housing Policy Methodology for Evaluation*, University of Toronto, 1985, 67 p.
- Building and Fire Research Laboratory, *Terms of reference*, NSTC Subcommittee on Construction and Building, http://www.bfrl.nist.gov/860/c_b/c&bpair.htm.
- Building & Fire Research Laboratory, *BFRL – 2000-2001*, 2002, 64 p.
- Building Research and Information – Special Issue, A Global Agenda for Sustainable Construction*, 1999.
- Building Research and Information – Special Issue, *The Future of National Building Research Organizations*, 1997.
- Building Research Establishment, *Sustainable Construction: An Agenda for Innovation*, 1996, 66 p.
- Butler, Declan, « Sweden streamlines research administration », *Nature*, vol. 406, 13 juillet 2000, p. 115.
- Caldwell, Melinda, *Technology & the Structural Building Components Industry – A Manufacturer Perspective*, 2002, <<http://www.sbcmag.info/past/2002/02may/techmanupersp.htm>>.
- Caldwell, Melinda, *Technology & the Structural Building Components Industry – A Supplier Perspective*, 2002, <<http://www.sbcmag.info/past/2002/02may/techsupppersp.htm>>.
- Campagnac, E, « The contracting system in the french construction industry: actors and institutions », *Building Research & Information*, vol. 28, n° 2, 2000, p. 131-140.
- Campagnac, Elisabeth, « National system of innovation in France: Plan Construction et Architecture », *Building Research & Information*, vol. 25, n° 5, 1998, p. 297-301.
- CANMET, *Sommaire d'une étude sur les opportunités sur le PV dans le bâtiment*, 2001, 10 p.
- Cazabat, Bruno et Gérard Melchior, « Habitat 88 la démarche séquentielle », *CSTB Magazine*, n° 12, 1988, p. 23-26.
- Center for Building Performance and Diagnostics, Carnegie Mellon University, 2 p., <<http://www.eng.nsf.gov/eec/iucrc/pdfs/bldgdiag.pdf>>.
- Center for the Built Environment, *An Opportunity for Collaborative Research on Building Design and Performance*, University of Berkeley, 2000, 38 p.
- Center of Building Performance and Diagnostics, *Building Systems Integration for Performance and Environmental Quality Results*, Carnegie Mellon Univeristy, 1999, 84 p.

- Centre des études de marché, *Le marché de la construction, de ses produits et de ses services en Chine*, ministère des Affaires étrangères et du Commerce international, 2001, 107 p.
- Centre scientifique et technique du bâtiment, *Rapport d'activités 2000*, 2000, 44 p.
- Chan, Albert P. C., Danny C. K. Ho et C. M. Tam, « Design and Build Project Success Factors: Multivariate Analysis », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 127, n° 2, 2001, p. 93-100.
- Chemillier, Pierre, *Quelques réflexions pour moderniser le secteur du bâtiment*, Cahiers du CSTB, 1993, 13 p.
- Chini, Abdol R., *Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic, and Policy*, Proceedings of the CIB Task Group 39 – Deconstruction Meeting, CIB World Building Congress, 6 April 2001, Wellington, New Zealand, 2001, 166 p.
- Chutter, Don, « Is Construction a “Sunset” Industry? », *Building*, vol. 47, n° 4, 1997, p. 4-7.
- CIB, *Agenda 21 on Sustainable Construction*, 1999, 120 p.
- CIB Working Commission W82, *Executive Summary – International CIB W82 Project*, <http://bativille.cstb.fr/CIB_Reports_pdf/Executive_summary.pdf>.
- CIRIA, *Innovation in Japanese Prefabricated House-Building Industry*, 1996, 66 p.
- CIRIA, BRE, Eclipse & Salford University, *Sustainable Construction: Future R&I Requirements: Report for the CRISP Sustainable Construction Theme Group*, 1999, 17 p.
- Civil Engineering Research Foundation, *Transferring Research into Practice – Lessons from Japan's Construction Industry*, 1991, 42 p.
- Civil Engineering Research Foundation, *Materials for Tomorrow's Infrastructure*, 1994, 172p.
- Civil Engineering Research Foundation, *Construction Industry. Research Prospectuses for the 21st Century*, 1996, 130 p.
- Civil Engineering Research Foundation, *Report on the Construction Industry Collaborations Workshop*, 1997, 181 p.
- Civil Engineering Research Foundation, *Guidelines for Moving Innovations into Practice – Prepared as part of CERF International Symposium & Innovative Technology Trade Show*, 2000, 27 p.
- Clayton Research Associates Ltd., D.G. Wetherell Associates Ltd., *Two Decades of Innovation in Housing Technology*, Canada Mortgage and Housing Corporation, 1994, 118 p.

- Clements, Linda, « Aerospace Technology Provides Affordable Housing », *Advanced Composites Bulletin*, mai 2000, p. 6.
- Cobb, David W., *Integrating Automation into Construction to Achieve Performance Enhancements*, CIB World Building Congress, April 2001, Wellington, New Zealand. Paper No. 161, 2001.
- Cohen, Clément, *Le chantier dans la diffusion de l'innovation technique*, Plan Urbanisme, Construction et Architecture, 1999, 68 p.
- Cole, Raymond J., « Lessons learned, future directions and issues for GBC », *Building Research and Information*, vol. 29, n° 5, 2001, p. 355-373.
- Comité européen des équipements techniques du bâtiment, *Competitiveness of the Construction Industry Working Group on Sustainable Construction*, 2000, 17 p.
- Comité européen des équipements techniques du bâtiment, *Competitiveness of the Construction Industry – An Agenda for Sustainable Construction in Europe*, 2001, 65 p.
- Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies, *De quoi auront l'air les prochaines éditions des codes nationaux?*, 2001, 28 p.
- Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies, *Codes axés sur les objectifs: la solution choisie par le Canada pour les codes du bâtiment et de la prévention des incendies du XXI^e siècle*, 2001, 28 p.
- Commission de la construction du Québec, *L'industrie de la construction en 2001*, 2002, 19 p.
- Commission de la construction du Québec, *Rapport d'activités 1999*, 2000, 119 p.
- Commission de la construction du Québec, *Rapport d'activités 2000*, 2001.
- Commission de la construction du Québec, *Rapport d'activités 2001*, 2002, 114 p.
- Commission de la construction du Québec, *Analyse de l'industrie de la construction au Québec – 1999*, 98 p.
- Commission des universités sur les programmes, *Les programmes en architecture, design, aménagement, urbanisme et études urbaines dans les universités du Québec*, 1999, 85 p.
- Commission des universités sur les programmes, *Les programmes du secteur du génie dans les universités du Québec*, 1998, 117 p.
- Commission européenne, *Final Report on Sustainable Construction*, 2001, 39 p.
- Competitive Building, *Competitive Building – Annual Report 2001*, 2001, 20 p.
- Conference Board of Canada, *Including Innovations in Regulatory Frameworks*, 2001, 46 p.

- Conley, Michael A. et Rita A. Gregory, « Partnering on Small Construction Projects », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 125, n° 5, 1999, p. 320-324.
- Conseil de la science et de la technologie, « Technopôle Angus – revue de presse », compilation.
- Construction Industry Institute, *How Do We Use Research to Improve the Engineering and Construction Industry?*, National Science Foundation. Final Report NSF Contract #9700436 CMS, 1997, 54 p.
- Construction Industry Institute, *Project Delivery Systems: CM at Risk, Design-build, Design-bid-build*, 1997, 33 p.
- Construction Industry Institute, *Construction Industry Institute 1999 Strategic Plan*, 1999, 22 p.
- Construction Industry Institute, *An Overview of the Process Industry Practices Consortium*, 2001, 11 p.
- Construction Technology Center Atlantic Inc., *Project: Investigation and Study into Research in Construction – Final Report*, 1997, 32 p.
- Cooke, Amanda et Avi Friedman, « Ahead of their time: The Sears catalogue prefabricated houses », *Journal of Design History*, vol. 14, n° 1, 2001, p. 53-70.
- Courtney, Roger, « Building research establishment – Past, present and future », *Building Research & Information*, vol. 25, n° 5, 1997, p. 285-291.
- Crosthwaite, David, « The global construction market: A cross-sectional analysis », *Construction Management and Economics*, vol. 18, n° 5, 2000, p. 619-627.
- CSTB Magazine, « Bâtiment et santé – Le bâtiment: un risque pour la santé », n° 113, 1998, 33 p.
- Cuperus, Ype, *An Introduction to Open Building*, s. d., 10 p., <<http://cic.vtt.fi/lean/singapore/CuperusFinal.pdf>>.
- Curwell, S.R. et M. Deakin, « Sustainable urban development and BEQUEST – Editorial », *Building Research & Information*, vol. 30, n° 2, 2002, p. 79-82.
- D'Aragon, Pierre, Bernard-André Genest et Michel Grant, *Recherche exploratoire sur la relation entre l'orientation qualité et la sécurité dans les projets de construction*, Institut de recherche en santé et sécurité du travail du Québec, 1996, 92 p.
- Dallaire, Michel et Benoît Perron, *L'énergie solaire thermique au Québec*, Ministère des ressources naturelles, Mars 2002, 39p.
- David Bartholomew Associates, *Diffusion Mechanisms for Construction Research and Innovation*, 1999, 38 p.

- Davidson, Colin H., *Subject: UICB's 2001 Annual Meeting*, 2001, 5 p.
- Davidson, Colin H., « Technology watch in the construction sector: Why and how », *Building Research & Information*, vol. 29, n° 3, 2001, p. 233-241.
- Davidson, Colin H., « The Building Centres – CIB's information allies », *Building Research & Information*, vol. 25, n° 5, 1997, p. 313-317.
- Day, Alan, *Digital Building*, Butterworth-Heinemann, 1997, 176 p.
- Debras, Philippe, Jean-Luc Monceyron et Fabrice Bauer, *From Product Data Technologies to Applications: Illustrative Cases in the AEC Domain*, CIB-W78 Conference Information Technology in Construction (Stockholm, 3-5 juin 1998), 8 p.
- Dechaume, Andrée-Françoise, *Notions de base sur les nouvelles technologies de l'information et de la communication dans la construction*, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 2000, 103 p.
- Derbyshire, Sir Andrew, « Reflections on BRS, BRE and the future », *Building Research & Information*, vol. 26, n° 4, 1998, p. 259-261.
- Derbyshire, Sir Andrew, « The UK's changing research base for construction: The impact of recent government policy », *Building Research & Information*, vol. 25, n° 5, 1997, p. 292-300.
- Dignard-Bailey, Lisa, *Situation présente et évolution du photovoltaïque au Canada – Rapport annuel 2000*, CANMET, 2001, 4 p.
- Dignard-Baily, L. et A. Filion, *Technologies photovoltaïques au Canada – État et perspectives 1998*, CANMET, 1999, 8 p.
- Dodgson, Mark, David Gann et Ammon J. Salter, *The Intensification of Innovation*, SPRU Electronic Working Paper No. 65, 2001, 18 p.
- Dubuc, André, « Les Français craquent pour la maison verte québécoise », *Les Affaires*, 19 août 2000, p. 59.
- Dulaimi, Mohamed, Florence Ling et George Ofori, « Enhancing integration and innovation in construction », *Building Research and Information*, vol. 30, n° 4, 2002, p. 237-247.
- Dumont, Jean, « Secteur La Providence – Une maison avec des murs de béton », *Le Courrier de Saint-Hyacinthe*, 23 mai 2001, 2 p. e3building, *Renovation of Buildings Constructed in Recent Decades*, 2nd e3building workshop, Vienne, 29 février 2001, 16 p.
- e3building, *Industrial Prefabrication: Building Mass-Produced or Made Fit to Measure*, 6th e3building workshop, Vienne, 12 octobre 2001.

- École des métiers et occupations de l'industrie de la construction du Québec, *Vitrine technologique et transfert technologique reliés à la domotique, à l'immatique et à l'efficacité énergétique*, <<http://www.mrn.gouv.qc.ca/ae/40/470/fiches/ficheP-008.htm>>.
- Egan, Sir John, *Accelerating Change*, Strategic Forum for Construction, 2002, 42 p.
- Egan, Sir John, *Rethinking Construction*, Department of the Environment, Transport and the Regions, 2001.
- Egbu, Charles O., « Refurbishment management : Challenges and opportunities », *Building Research and Information*, vol. 25, n° 6, 1997.
- Egosi, Nathiel G., « The past and the future of advancing technologies », *Resource Recycling*, vol. 18, n° 8, 1999, p. 2-15.
- Ehrs, Bruno, « Community spirit », *Building – Market Harborough*, vol. 263, n° 18, 1998, p. 22-25.
- El-Higzi, Faiza A., « International Market Entry for Construction Industry », *International Journal for Construction Marketing*, vol. 3, 2001.
- Engineer Update*, « Around-the-Corps », vol. 20, n° 8, 1996, 3 p.
- ENR, « Construction at crossroads », 2 novembre 1998, p. 10-14.
- ENR, « A \$3.2 Trillions World Market », 30 novembre–7 décembre 1998, p. 36-72.
- ENR, « Don't ignore ISO standards », vol. 243, n° 23, 1999, p. 60.
- Environmental Building News*, « Wood products certification : A progress report », vol. 6, n° 10, 1997.
- Équipe Canada, *Cadre stratégique national à l'intention des exportateurs canadiens du secteur de l'habitation*, 15 p.
- Équipe commerciale Canada des matériaux de construction, 1999, <<http://strategis.ic.gc.ca/SSGF/fb01314f.html>>.
- Eriksson, Jan, « Under political scrutiny – Swedish building and construction research », *Building Research and Information*, vol. 26, n° 4, 1998, p. 246-252.
- Essiz, Ozlem, *Prefabricated Modular Building Components in Modern Architecture*, 2002.
- European Commission, *Barriers to Innovation*, <<http://europa.eu.int/comm/enterprise/construction/innov/innobar.htm>>.
- European Green Building Forum, *EGBF – Newsletter*, 2001.
- European Green Building Forum, *EGBF – Open Conference – Brussels*, 6 April 2001 – Proceedings, 2001, 56 p.

- European Union, *Building for the Environment*, The Growth Programme, 1999, <<http://europa.eu.int/comm/research/growth/gcc/projects/in-action-construct.html>>.
- Everett, John G. et Hiroshi Saito, « Construction automation : Demands and satisfiers in the United States and Japan », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 122, n° 2, 1996, p. 147-151.
- Faoro, Martin, « Innovative building with prefabricated components », *Betonwerk und Fertigteiltechnik*, vol. 64, n° 6, 1998, p. 34-44.
- Fazio, Paul *et al.*, « Design impact of construction fast-track », *Construction Management and Economics*, vol. 5, 1988, p. 195-208.
- Fazio, Paul et Louis Poliquin, *Prefabricated Housing in Sweden and Finland*, 2000, 57 p.
- Fazio, Paul *et al.*, *Assessment of the Prefabricated Industry*, Forintek Canada, Université Concordia, Société canadienne d'hypothèques et de logement, Société d'habitation du Québec, 68 p.
- Filion, Pierre et François Boutin-Dufresne, *L'énergie au Québec*, Les Publications du Québec, 2000, 126 p.
- Filion, Pierre et Louis-Philippe Morin, *L'énergie au Québec*, Les Publications du Québec, 2001, 125 p.
- Finn, D.W, « L'industrialisation de la construction », *Construction Canada*, vol. 34, n° 3, 1992, p. 25-28.
- Finney, Dana, *The Creation of CERL*, 1999, <<http://www.cecer.army.mil/pao/histch1t.html>>.
- Fluet, Claude, *Les procédures d'octroi de contrats pour les services d'architectes et d'ingénieurs*, Conseil du trésor, Gouvernement du Québec, 1998, 29 p.
- Foisy, Martine *et al.*, *Portrait des effectifs étudiants en sciences et génie au Québec (1970-2000)*, Centre interuniversitaire de recherche sur la science et la technologie, 2000, 62 p.
- Foliente, Greg C., « Developments in Performance-Based Building Codes and Standards », *Forest Products Journal*, vol. 50, n° 7/8, 2000, p. 12-21.
- Forintek Canada Corp., *Forintek – Rapport annuel 2001-2002*, 2002, 36 p.
- Foundations for a Good Life, *Vision 2010 – The Finnish Real Estate and Construction Cluster's Vision for 2010*, 2001, 20 p.
- Foundations for a Good Life, *Vision 2010 – The Finnish Real Estate and Construction Cluster's Vision for 2010*, 2002, 48 p.
- Fraser, Campbell et Anna Zarkada-Fraser, « The philosophy, structure and objectives of research and development in Japan », *Construction Management and Economics*, vol. 19, 2001, p. 831-840.

- Friedman, Avi, *Innovation and the North American Homebuilding Industry*, McGill University School of Architecture, 1989, 11 p.
- Friedman, Avi et Vince Cammalleri, *Construction industrialisée des maisons en rangée au moyen de panneaux muraux – La Maison évolutive, version industrialisée*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, Société d'habitation du Québec, 1994, 104 p.
- Friedman, Avi, *Le logement au XXI^e siècle*, Compte rendu du Symposium sur le logement au XXI^e siècle, le 27 septembre 1996, Université McGill, Montréal, Canada, 1996, 39 p.
- Friedman, Avi, *The Next Home for a New Millennium*, 1996, 178 p.
- Froese, Thomas, *STEP Data Standards and the Construction Industry*, Proceedings of the 1996 Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Edmonton, Alberta, May 29 – June 1, 1996. CSCE, Montréal, Canada, 1996, 11 p.
- Froese, Thomas, « Information standards in the AEC industry », *Canadian Civil Engineer*, vol. 11, n^o 6, septembre 1994.
- Froese, Thomas M. et Mahmoud R. Halfawy, *Leveraging Information Technologies Applications in the Canadian AEC/FM Industry*, Conference of the Canadian Society for Civil Engineers, Victoria (B.C.), 30 mai – 2 juin 2001, 7 p.
- Gagné, Pierrette et Michel Lefèvre, *Atlas industriel du Québec*, 1993, 351 p.
- Gagné, Robert et al., *Les coûts de la réglementation: une revue de la littérature*, Cirano, 2001, 52 p.
- Gann, David, *Building Innovation – Complex Constructs in a Changing World*, London, Thomas Telford, 2000, 257 p.
- Gann, David, Open Building, <www.rethinkinghousebuilding.org/h%5Cdocuments%5COpenBuilding.pdf>.
- Gann, David, « Should governments fund construction research? », *Building Research & Information*, vol. 25, n^o 5, 1997, p. 257-267.
- Gann, David, *Healthcare and Smart Housing Technologies*, Pavilion, 2000, 61 p.
- Gann, David M., « Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan », *Construction Management and Economics*, vol. 14, n^o 5, 1996, p. 437-450.
- Gann, David M., Yusi Wang et Richard Hawkins, « Do regulations encourage innovation? – The case of energy efficiency in housing », *Building Research and Information*, vol. 26, n^o 4, 1998, p 280-296.

- Gibb, Alistair, *Pre-assembly in Construction: A Review of Recent and Current Industry and Research Initiatives on Pre-assembly in Construction*, CRISP Consultancy Commission, 2001, 75 p.
- Gibb, Alistair, *Standardisation and Customisation in Construction: A Review of Recent and Current Industry and Research Initiatives on Standardisation and Customisation in Construction*, CRISP Consultancy Commission, 2001, 65 p.
- Gibb, Alistair G.F., *Off-site Fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation*, John Wiley & Sons, 1999, 262 p.
- Ginter inc., *Évaluation comparative des méthodes de construction usinées en regard de la construction traditionnelle*, 1991, 35 p.
- Girardin, Pierre, *La domotique*, Les Publications du Québec, 1994, 87 p.
- Gouvernement du Québec, *Plan d'action québécois 2000-2002 sur les changements climatiques*, 2000, 42 p.
- Gouvernement du Québec, *Rapport du Groupe conseil sur l'allègement réglementaire au premier ministre du Québec*, 1998, 59 p.
- Green, Stuart, *The Dark Side of Lean Construction: Exploitation and Ideology*, Proceedings IGLC-7, 26-28 July 1999, University of California, Berkeley (CA), 1999, 12 p.
- Groupe SECOR, *Pour une industrie de construction plus responsable*, 1994, 89 p.
- Haas, Carl T. et al., *U.S. Construction Labor Productivity Trends, 1970-1998*, Centre for Construction Industry Studies, University of Texas at Austin, 1999, 29 p.
- Harris, Richard, « More American than the United States: Housing in urban Canada in the twentieth century », *Journal of Urban History*, vol. 26, n° 4, 2000, p. 456-478.
- Harris, Richard et Michael Buzzelli, *The Industry Historians Forgot: House Building in the Machine Age, 1918-1972 (draft)*, <<http://www.science.mcmaster.ca/geo/faculty/harris/geography/housebuilding.html>>.
- Harrod, Geoff, *aecXML & IFC*, 2002.
- Harvard Design School, *Managing the Construction of the Museo Guggenheim Bilbao*, 2002, 20 p.
- Hassel, Scott, Scott Florence et Emile Etedgui, *Summary of Federal Construction, Building, and Housing Related Research & Development in FY1999*, Rand, 2001, 47 p.
- Hastak, Makarand, « Advanced automation or conventional construction process? », *Automation in Construction*, vol. 7, n° 4, 1998, p. 299-314.

- Hill, Richard C. et Paul A. Bowen, « Sustainable construction: Principles and a framework for attainment », *Construction Management and Economics*, vol. 15, 1997, p. 223-239.
- Hillemeir, Bernd, « Innovations in the building materials market – A reassurance for construction from new building materials », *Betonwerk und Fertigteiltechnik*, vol. 63 n° 3, 1997, p. 74-82.
- Hills, John, « Inclusion or exclusion? The role of housing subsidies and benefits », *Urban Studies*, vol. 38, n° 11, 2001, p. 1887-1902.
- Hodkinson, Richard, *New Technology and Innovation at Greenwich Millennium Village*, Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Civil Engineering, vol. 138, n° 2, 2000, p. 79-84.
- Holbrook, J.A.D. et L.P. Hughes, *Characteristics of Innovation in the Services Sector in British Columbia*, Simon Fraser University, 10 p.
- Holmen Enterprises Ltd., *Innovation in the Housing Industry*, Institut de recherche en construction, 2001, 26 p.
- Hong-Minh, S.M., R. Barker et M.M. Naim, *Construction Supply Chain Trend Analysis*, Proceedings IGLC-7, 26-28 July 1999, University of California, Berkeley, 1999, p. 85-96.
- Howard, Rob, Arto Kiviniemi et Olle Samuelson, « Surveys of IT in the construction industry and experience of the IT barometer in Scandinavia », *ITcon*, vol. 3, 1998, p. 45-55.
- Indoor Air Review*, « International IAQ Conference identifies mold and moisture in buildings as a worldwide problem », vol. 4, automne 2000, 2 p.
- Industrial College of the Armed Forces, *Construction*, 17 p.
- Industrie Canada, *Le marché des maisons préfabriquées*, printemps 1998, <<http://strategis.ic.gc.ca/SSGF/fb01100f.html>>.
- Institut de recherche en construction, « Du nouveau en matière d'isolation thermique », *Innovation en construction*, vol. 6, n° 4, 2001.
- Institut de recherche en construction, *Miser sur nos points forts. Plan stratégique du CNRC en construction pour 1999-2004*, s. d., 9 p.
- Institute for Research in Construction, *Innovation Systems and the Construction Industry*, 1997, 7 p.
- Institute for Research in Construction, *Construction Industry Roundtable on Innovation: Synthesis Report*, 1999, 25 p.
- Institute for Research in Construction, « National or provincial/territorial code – Which applies? », *Construction Innovation*, printemps 2001, p. 2-3.

- Ivanovich, Michael, « The future of intelligent building is now », *Heating, Piping, Air Conditioning*, vol. 71, n° 5, 1999, p. 73.
- Jaafari, Ali, Kitsana K. Manivong et Michel Chaaya, « VIRCON : Interactive system for teaching construction management », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 127, n° 1, 2001, p. 66-75.
- Jaselskis, Edward J., Stuart D. Anderson et Jeffrey S. Russel, « Strategies for achieving excellence in construction safety performance », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 122, n° 1, 1996, p. 61-70.
- Jaselskis, Edward J., Stuart D. Anderson et Jeffrey S. Russel, « Costs of accidents and injuries to the construction industry », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 122, n° 2, 1995, p. 153-164.
- Jolicœur, Martin, « La maison du futur sera calquée sur le modèle Lego », *Les Affaires*, 47, 29 juillet 2000.
- Jortberg, Robert F., *An Assesment of the Impact of CII*, Construction Industry Institute, 1998, 45 p.
- Jortberg, Robert F. et Thomas R. Haggard, *CII: The First Ten Years*, Construction Industry Institute, 1993, 85 p.
- Jortberg, Robert F. et Thomas R. Haggard, *Benchmarking & Metrics Results*, 2001, <<http://www.cii-benchmarking.org/downloads.cfm>>.
- Kangari, Roozbeh et Yasuyoshi Miyatake, « Developing and Managing Innovative Construction Technologies in Japan », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 123, n° 1, 1997, p. 72-76.
- Karola, Antti, Tuomas Laine et Kenneth Lassila, *Simulation Data Management in the Design Process*, 5 p.
- Kendall, Stephen, « Open buildings : An approach to sustainable architecture », *Journal of Urban Technology*, vol. 6, n° 3, 1999, p. 1-16.
- Kendall, Stephen et Jonathan Teicher, *Residential Open Building*, E & FN Spon, CIB, 2000, 301 p.
- Kibert, Charles J., *Reshaping the Built Environment*, Island Press, 1999, 362 p.
- Klinger, Kevin R., *Making Digital Architecture: Historical, Formal, and Structural Implications of Computer Controlled Fabrication and Expressive Form*, The 19th eCAADe Conference, 2001, 6 p.
- Kolarevic, Branko, « Designing and manufacturing architecture in the digital age », *Architectural Information Management*, 05, 2002, p. 117-123.
- Konchar, Mark et Victor Sanvido, « Comparison of U.S. Project Delivery Systems », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 124, n° 6, 1998, p. 435-444.

- Konchar, Mark et Victor Sanvido, « Concurrent engineering: A schedule reduction tool », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 123, n° 3, 1997, p. 354-362.
- Kose, Satoshi, « Building Research Institute in Japan: Past, present and future », *Building Research & Information*, vol. 25, n° 5, 1997, p. 268-271.
- Koskela, L. et P. Huovila, *Concurrent Engineering in Construction: From Theory to Practice*, Concurrent Engineering in Construction – CEC99, 25-27 August 1999, Espoo, Finlande, 1999, 11 p.
- Koskela, Lauri, Greg Howell et Glenn Ballard, *The Foundations of Lean Construction*, Elsevier Science, 2002.
- Koskela, Lauri, *An Exploration towards a Production Theory and Its Application to Construction*, VTT, 2000, 296 p.
- Kot, O.F et C. Roy (dir.), *La construction au Québec: perspectives juridiques*, Éditions Wilson et Lafleur, 1998.
- KPI Working Group, *KPI Report for The Minister for Construction*, Department of the Environment, Transport and the Regions, 2000, 34 p.
- Krizan, William, « ISO Registration creeps slowly into construction », *ENR*, vol. 243, n° 23, 1999, p. 32.
- Kululanga, G.K., F.T. Edum-Fotwe et R. McAffer, « Measuring construction contractors' organizational learning », *Building Research & Information*, vol. 29, n° 1, 2001, p. 21-29.
- L.J. O'Riley & associates inc., *Revitalisation de l'industrie des maisons usinées au Canada pour la fourniture efficace de logements abordables*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1999, 44 p.
- Labbé, Sylvain, *Les marchés d'exportation*, Séminaire Maisons usinées et composantes préfabriquées, 20 et 21 mars 2002, 65 p.
- Lacasse, Michel A., « Materials and technology for sustainable construction », *Building Research and Information*, vol. 27, n° 6, 1999, p. 406-409.
- Lacroix, Éric et Brigitte Poussart, *L'informatisation des entreprises: Portrait de la situation*, Isabelle Quentin éditeur, 2000, 175 p.
- Landman, Miriam, *Breaking through the Barriers to Sustainable Building: Insights from Building Professionals on Government Initiatives to Promote Environmentally Sound Practices*, TUFTS University, Master of Arts in Urban and Environmental Policy, 1999, 72 p.
- Lansley, Peter, « The impact of BRE's commercialization on the research community », *Building Research & Information*, vol. 25, n° 5, 1997, p. 301-312.

- Larédo, Philippe et Philippe Mustar, *Research and Innovation in the New Global Economy. An International Comparative Analysis*, Edward Elgar, 2001, 524 p.
- Larsson, Nils K. et Raymond J. Cole, « Green Building Challenge: The development of an idea », *Building Research & Information*, vol. 29, n° 5, 2001, p. 336-345.
- Lefebvre, Elisabeth et Louis A. Lefebvre, *Les PME, l'exportation et la création d'emploi: une analyse au niveau de l'entreprise*, 2000, 66 p.
- Lefebvre, Sylvain-D. et Gilles-E. Saint-Amant, *Les enjeux en gestion de projets de construction pour les années 2000*, Chaire UQAM-SITQ Immobilier, Université du Québec à Montréal, 1997, 31 p.
- Legault, Claude, *Corvée-habitation – 4^e rapport annuel*, 1986.
- Li, Victor C., « New construction materials proliferate in Japan » *Civil Engineering*, vol. 65, n° 8, 1995, p. 38-41.
- Liberatore, Matthew J., Bruce Pollack-Johnson et Colleen A. Smith, « Project management in construction: Software use and research direction », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 127, n° 2, 2001, p. 101-107.
- Liebing, Ralph, *The Construction Industry – Processes, Players and Practices*, E & FN Spon, 2001, 205 p.
- Linder, Marc, *Projecting Capitalism: A History of the Internationalization of the Construction Industry*, Greenwood Press, 1994, 270 p.
- Low, Sui Peng, *Theory and Practice of Construction Export Marketing*, Avebury Press, 1996, 353 p.
- Lundvall, Bengt-Ake et Jesper Lindgaard Christensen, *Extending and Deepening the Analysis of Innovation Systems – With Empirical Illustrations from the DISKO-project*, 27 p.
- Lurtz, Bill, « Think Fast », *Professional Builder*, vol. 65, n° 1, 2000, p. 74.
- M2 Communications Ltd., *USACE Begins Consolidation of its Four Laboratories*, 1998, 3 p.
- Mackley, Caroline J. et Sotiris Milonas, « Knowledge transfer and Green Building Challenge », *Building Research & Information*, vol. 29, n° 5, 2001, p. 346-354.
- Makar, Jon, *Implications of Nanotechnology for the Construction Industry*, National Research Council Canada, 2002, 29 p.
- Mandelstamm, Allan B., « The Effects of unions on efficiency in the residential construction industry: A case study », *Industrial and Labor Relations Review*, juillet 1965, p. 503-521.

- Manseau, André, « Research information – Who cares about overall industry innovativeness? », *Building Research and Information*, vol. 26, n° 4, 1998, p. 241-245.
- Manseau, André et George Seaden, *Innovation in Construction – An International Review of Public Policies*, E & FN Spon, 2001, 409 p.
- Mathis, John, *Making Zero Accidents a Reality*, 2001, <construction-institute.org/cpi2001slides/mathis_cpi.ppt>.
- McLeister, Dan, « White House seeks faster changes in housing », *Professional Builder*, vol. 63, n° 7, 1998, p. 30.
- Menzies, Dick et Jean Bourbeau, « Building-related illnesses », *New England Journal of Medicine*, vol. 337, n° 21, 1997, p. 1524-1531.
- Menzies, Dick et Jean Bourbeau, « The Sick Building Syndrome in office buildings – A breath of fresh air », *New England Journal of Medicine*, vol. 328, n° 12, 1993, p. 877-878.
- Milton, Anna, « Prefab sprout », *Building*, vol. 262, n° 14, 1997, p. 56-57.
- Miozzo, Marcela et Paul Dewick, « Building competitive advantage: Innovation and corporate governance in European construction », *Research Policy*, vol. 31, 2002, p. 989-1008.
- Modular Building Institute, *The Commercial Mobile Office and Modular Building Industry 1998 Statistical Survey*, 1999, 18 p.
- Molenaar, Keith R. et Anthony D. Songer, « Model for Public Sector Design-Build Project Selection », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 124, n° 6, 1998, p. 467-479.
- Momaya, Kiran et Kenneth Selby, « International competitiveness of the Canadian construction industry: A comparison with Japan and the United States », *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 25, n° 4, 1998, p. 640-652.
- Momaya, Kirankumar Somchand, *International Competitiveness of the Canadian Construction Industry: A Comparison with Japan and the United States*, Thèse de doctorat, Département de génie civil, Université de Toronto, 1996, 258 p.
- Murray, Norman, Terrence Fernando et Ghassan Aouad, « A virtual environment for building construction », *Centre for Virtual Environments*, s. d., 6 p.
- NAHB Research Center, *PATH Roadmap Advanced Panelized Construction*, 2001, 18 p.
- NAHB Research Center, *PATH Technology Roadmap Whole House and Building Process Redesign*, 2001, 34 p.
- Nam, C.H. et C.B. Tatum, « Leaders and champions for construction innovation », *Construction Management Economics*, vol. 15, 1997, p. 259-270.

- National Association of Home Builders, *Housing. Facts, Figures and Trends*, 2001, 64 p.
- National Association of Home Builders Research Center, *PATH Roadmap for Information Technology to Accelerate and Streamline Home Building (Draft)*, 2001, 61 p.
- National Institute of Building Sciences, *Workshop on National Construction Goals as Related to the Commercial & Institutional Building Sector*, 1996, 28 p.
- National Institute of Building Sciences, *Annual Report to the President of the United States*, 2000, 40 p.
- National Institute of Standards and Technology, *National Planning for Construction and Building R&D*, 1995, 95 p.
- National Institute of Standards and Technology, *Innovation in the Japanese Construction Industry – A 1995 Appraisal*, 1996, 132 p.
- National Science and Technology Council, *Construction and Building – Report of the Subcommittee on Construction and Building*, Committee on Technology, 1999, 38 p.
- National Steering Committee for Innovation in Construction, *Innovation in Construction*, 2002, 16 p.
- Nichols, Laurier, *La modélisation des systèmes énergétiques de bâtiment – Un outil de décision*, eSim 2001, 13 et 14 juin 2001, Ottawa, 2001, 8 p.
- Nilsson, Anika et Joanna Rose, « Buffeted community braces for more change », *Science*, vol. 282, 20 nov. 1998, p. 1401-1403.
- Nilsson, Anika et Joanna Rose, « Environmental researchers wait anxiously for salvation », *Science*, vol., 283, 12 février 1999, p. 924.
- Nilsson, Anika et Joanna Rose, « Academic applaud renewed support », *Science*, vol. 284, 7 mai 1999, p. 886-887.
- Nilsson, Anika et Joanna Rose, « Funding hike, with strings attached », *Science*, vol. 289, 29 septembre 2000, p. 2259.
- Nordicity Group Ltd., *Characteristics of the Innovation Process and System in the Canadian Construction Sector Final Report*, Institut de recherche en construction, 1997, 23 p.
- Normand, François, « Le pénuries de main-d'œuvre ne sont pas là où on le pense », *Le Devoir*, lundi 21 juin 1999.
- O'Brien, Michael, Ron Wakefield et Yvan Béliveau, *Industrializing the Residential Construction Site*, U.S. Department of Housing and Urban Development's Office of Policy Development and Research, 2000, 87 p.

- Organisation de coopération et de développement économiques, *La mondialisation industrielle – Quatre études de cas : pièces automobiles, produits chimiques, construction et semi-conducteurs*, OCDE, 1992, 178 p.
- Organisation de coopération et de développement économiques, *Perspectives de la science, de la technologie et de l'industrie 1998. Chapitre 5: Revitalisation des industries parvenues à maturité: le rôle des technologies de pointe*, OCDE, 1998, 28 p.
- Organisation for Economic Co-operation and Development, *Dynamising National Innovation Systems*, OECD, 2002, 96 p.
- Organisation for Economic Co-operation and Development, *Economic Survey of Sweden*, OECD, 2002, 8 p., <<http://www.oecd.org/pdf/M00031000/M00031709.pdf>>.
- Organisation for Economic Co-operation and Development, *Sustainable Construction*, OECD, <www.oecd.org/env/efficiency/construct.htm>.
- Papineau, Jean-Marc, « La part du Lion », *Plan*, nov.-déc. 2001.
- Pauly, Adrianna et W. Mike Martin, *The Reintegration of the Architect*, <<http://usa.autodesk.com/adsk/item/0,,181800-123112,00.html>>.
- People's Daily*, « World construction giants eye Chinese market », 20 novembre 2001.
- People's Daily*, « Home buyers in China seeking upgraded apartments », 11 août 2002, 2 p.
- Periàñez, Manuel, *L'habitat évolutif: du mythe aux réalités...*, s. d., 202 p.
- Picchi, Flavio A., *Lean Principles and the Construction Main Flows*, 2000, 11 p.
- Poitras, André et Jocelyn Duff, *Les innovations technologiques en matière d'habitation et la production de logements en dehors des modes traditionnels*, Société d'habitation du Québec, 1988, 52 p.
- Pommeroy, Steve, Greg Lampert et Kathleen Mancner, *Politiques et programmes relatifs au secteur locatif privé: étude sur l'expérience internationale*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1999, 85 p.
- Pouliot, Réjeanne, Richard St-Pierre et Carole Caron, *Guide de référence de la valeur ajoutée et de la deuxième transformation du bois*, ministère des Ressources naturelles, Secteur des forêts, 1999, 39 p.
- Pries, Frens et Felix Janszen, « Innovation in the construction industry: The dominant role of the environment », *Construction Management and Economics*, vol. 13, 1995, p. 43-51.
- Québec Construction*, « Les leaders de la construction – Top 100 », vol. 17, n° 1, sept.-oct. 2000, p. 13.

- Québec Construction, « Top 100 », sept.-oct. 2001, p. 8.
- Québec. Ministère de l'Économie et des Finances, *Les secteurs porteurs du second œuvre du bâtiment au Québec*, Direction des relations économiques extérieures, 1997, 73 p.
- Québec. Ministère de l'Industrie et du Commerce, *Sectoriel stratégique : Industrie de la construction*, 1999, 10 p.
- Québec. Ministère des Ressources naturelles, *L'Énergie au service du Québec : une perspective de développement durable. Chapitre 11 : La recherche et le développement*, <http://www.mrn.gouv.qc.ca/2/20/204/integral/chap_11.asp>.
- Racine, Pierre, « Une maison à votre service », *Magazine 7 jours*, 7 octobre 2000, 3 p.
- Rantama, Markku, *The Finnish National Technology Development Programme for Healthy Buildings 1998-2002*, CIB W 77 Workshop, Naples, 14-15 septembre 2001, 5 p.
- Reed, William G. et Elliot B. Gordon, « Integrated design and building process : What research and methodologies are needed? », *Building Research and Information*, vol. 28, n° 5/6, 2000, p. 325-337.
- Régie du bâtiment du Québec, *Rapport annuel de gestion 2001-2002*, 2002, 51 p.
- Régie du bâtiment du Québec, *Plan stratégique 2002-2005*, 2002, 40 p.
- Réseau Trans-Al, *Carte routière technologique de l'industrie canadienne de l'aluminium*, 2000, 84 p.
- Ressources naturelles Canada, *Initiative des bâtiments fédéraux – Questions et réponses*, 1994, 18 p.
- Ressources naturelles Canada, *Initiative des bâtiments fédéraux – Le contexte des politiques*, 1994, 28 p.
- Rethinking Construction, *A Commitment to People « Our Biggest Asset »*, 2000, 47 p.
- Rethinking Construction Ltd., *Rethinking Construction: 2002*, London, 2002, 21 p.
- Revay et Associés, *Les exécutants et les bailleurs de fonds de la R et D en construction au Canada*, 1999, 13 p.
- Revay, Stephen, *A Proposal to Augment the Competitiveness of the Construction Industry in Canada*, 1992, 53 p.
- Revue Commerce*, « L'un des meilleurs guichets uniques de l'industrie : le Groupe Cegerco », janvier 2001, p. 3-15.
- Rhisiart, Martin, Gareth Roberts et Thomas Meiron, *Technology Clinics*, Cardiff Business School, 2000, 11 p.
- Richard, Roger-Bruno, « Industrialization of building in Japan », *Micro IF*, 3208, 1983, 20 p.

- Richard, Roger-Bruno, *Repertoire des systèmes de construction industrialisés en habitation*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1990, 40 p.
- Richard, Roger-Bruno, *Extraits – Systèmes de construction industrialisés dans le domaine de l'habitation*, Société d'habitation du Québec, 1990, 15 p.
- Richard, Roger Bruno, *Rapport à la suite de la conférence internationale sur le développement de l'industrie de la construction à Singapour*, 1999, 20 p.
- Rivard, Hugues, « A Survey on the Impact of Information Technology on the Canadian Architecture, Engineering and Construction Industry », *ITcon*, vol. 5, 2000, p. 37-56.
- Robert, Patrick et Gilles Rousseau, *L'innovation, une exigence incontournable*, Chaire UQAM-SITQ Immobilier, Université du Québec à Montréal, 1998.
- Robichaud, François et David Fell, *Prefabricated Walls and Roof Trusses in U.S. Residential Markets*, Forintek Canada Corp., 2002, 48 p.
- Rosenfeld, Yehiel, « Innovative construction methods », *Construction Management and Economics*, vol. 12, 1994, p. 521-541.
- Rosenfeld, Yehiel, « Innovative construction methods », *Construction Management and Economics*, vol. 12, n° 6, 1994, p. 521-541.
- Rubin, Debra, Mary Powers et William Angelo, « Revenue Grows in Green Markets », *ENR*, vol. 245, n° 1, 2000, p. 36.
- Russel, Barry, *Building Systems, Industrialization and Architecture*, John Wiley & Sons, 1981, 758 p.
- Rybczynski, Witold, Avi Friedman et Susan Ross, *La Maison Évolutive*, Université McGill, École d'architecture, 1990, 44 p.
- Sahnouni-Belblidia, Yasmine, *Modélisation des données dans le bâtiment pour le développement d'outils d'assistance à la conception technique – Un modèle pour la simulation du cycle de la conception technique*, Doctorat de l'Institut national polytechnique de Lorraine, Discipline : Sciences de l'architecture, 1999, 139 p.
- Salisbury, David, *Precision Engineering: Designing Buildings for the Future*, 1998, <www.stanford.edu/dept/news/report/news/february25/cife.html>.
- Sarja, Asko, *Open and Industrialised Building*, E & FN Spon, 1998, 228 p.
- Sawyer, Tom et William J. Angelo, « Revolution: Under-used technology holds new opportunities », *ENR*, 2001.
- Scanada Consultants Ltd., Clayton Research Associates Ltd., *Three Decades of Innovation in Housing Technology: 1966-1996*, Canada Mortgage and Housing Corporation, 1996, 139 p.
- Schrage, Michael, « Nice building but the real innovation is in the process », *Fortune*, juillet 2000, 2 p.

- Science Council of British Columbia, *Lessons Learned*, 2001, 6 p., <http://www.scbc.org/Init_Info/inin_inbude_chst_lele.html>.
- Seaden, George, « Economics of innovation in the construction industry », *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 2, n° 3, 1996, p. 103-107.
- Seaden, George, « The Future of National Construction Research Organizations », *Building Research and Information*, vol. 25, n° 5, 1997, p. 250-256.
- Seaden, George et André Manseau, « Public policy and construction innovation », *Building Research & Information*, vol. 29, n° 3, 2001, p. 182-196.
- Sebestyen, Gyula, *Construction – Craft to Industry*, E & FN Spon, 1998, 338 p.
- Secor, *Étude prospective de l'industrie de la construction*, 2000, 80 p.
- Sexton, Martin, Peter Barret et Ghassan Aouad, *Diffusion Mechanisms for Construction Research and Innovation into Small to Medium-Sized Construction Firms*, CRISP, 1999, 28 p.
- Sharpe, Andrew, « Tendances de la productivité dans le secteur de la construction au Canada : le décalage des progrès techniques », *Observatoire international de la productivité*, n° 3, 2001, p. 55-72.
- Sher, W. et Alistair G.F. Gibb, *An Industry/Academic Partnership in Developing and Managing an Undergraduate Degree in Construction Management*, 1996.
- Slaughter, Sarah, « Models of construction innovation », *Journal of Construction Engineering and Management*, mai-juin 1998, p. 226-231.
- Slaughter, Sarah, « Characteristics of existing construction automation and robotics technologies », *Automation in Construction*, vol. 6, n° 2, 1997, p. 109-120.
- Snell, Jack, *Innovation Systems*, Présentation au symposium sur l'innovation, Ottawa 2001, 17 p.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement, *Évaluation des adaptations physiques et domotiques dans quatre logements situés à Ville Saint-Laurent (Québec)*.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement, *Report on the Consultation with Canada's Housing Industry on Export Strategies*, 1994, 25 p.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement, *Scandinavie – occasions d'exportation dans le domaine de l'habitation*, 1997, 43 p.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement, *Documentation financière en vue de l'exportation*, 1998, 100 p.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement, *Glossaire des termes d'habitation*, 1999, 117 p.

- Société canadienne d'hypothèques et de logement, *Étude sur les débouchés des maisons usinées dans le sud-est des États-Unis*, 1999, 56 p.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement, *Les incidences économiques de la construction résidentielle*, 2000, 16 p.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement, *Rapport annuel 2001*, 2002, 87 p.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement, *Les É.-U. enquêteront sur l'importation de composantes de bâtiment*, 2002, 1 p., <http://www.schl.ca/fr/malopaet/exprsaca/exprsaca_022.cfm>.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement, *Comment les codes du bâtiment axés sur les objectifs vous toucheront-ils?*, s. d., 10 p.
- Société d'habitation du Québec, *Nouvelles technologies en matière d'habitation – Le potentiel d'exportation du Québec*, 1996, 34 p.
- Société d'habitation du Québec, *Plan stratégique 2000-2003*, 2000, 62 p.
- Société immobilière du Québec, *Rapport annuel 2000-2001*, 2001, 28 p.
- Stein, Karen D., « Project Diary: Frank Gehry's dream project, the Guggenheim Museum Bilbao, draws the world to Spain' Basque Country », *Architectural Record*, octobre 1997, p. 74-87.
- Steven Winters Associates, *Building Innovation for Homeownership*, US Department of Housing & Urban Development, 1998, 178 p.
- Stouffs, Rudi, « Visualizing information structures and its impact on project teams: An information architecture for the virtual AEC company », *Building Research & Information*, vol. 29, n° 3, 2001, p. 218-232.
- Structural Building Components Magazine*, « U.S. Value-Added Wood Products Alliance calls for solution to softwood lumber trade dispute », novembre 2002, 1 p., <<http://www.sbcmag.info/inarchive/2002.11.htm>>.
- Sullivan, Bary James, *Industrialization in the Building Industry*, Van Nostrand Reinhold Company, 1980, 253 p.
- Swedish Agency for Innovation Systems, *Swedish Research – Main Financing Bodies*, 2002, 13 p.
- Swedish Institute, *Swedish Industry – Construction Industry and Infrastructure*. Fact Sheet 130, 2001, 6 p.
- Sweden Ministry of Education and Science, *Certain Research Issues – A Summary of Government Bill 1998/99:94*. Fact Sheet, 1999, 4 p.
- Sweden Ministry of Education and Science, *Sweden Research and Renewal – A Summary of Government Bill 2000/01:3*. Fact Sheet, 2000, 3 p.

- Swedish Research for Sustainability, « The Healthy Building – Stage 2 », Stockholm, Formas, 2002, 8 p.
- Syben, Gerhard, « Contractors take command: From a demand-based towards a producer-oriented model in German construction », *Building Research & Information*, vol. 28, n° 2, 2000, p. 119-130.
- Teicholz, Paul, « U.S. Construction Labor Productivity Trends, 1970-1998 – Discussion by Paul Teicholz », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 126, n° 2, 2000, p. 427-429.
- TEKES, *Productivity and Quality with Information Management – VERA*, 2000, 2 p., <<http://akseli.tekes.fi/Resource.phx/rapu/vera/en/description.htx.liite.liitteet.0.pdf>>.
- TEKES, *Healthy Building – Description of the Programme*, 2001, <<http://akseli.tekes.fi/Resource.phx/rapu/terve/en/description.htx>>.
- TEKES, *PTIV Project – A Remarkable Step towards Cleaner Ventilation*, 2002, <<http://akseli.tekes.fi/Resource.phx/rapu/terve/en/ptiv250602.htx>>.
- Thomas, H. Randolph *et al.*, « Reducing variability to improve performance as a lean construction principle », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 128, n° 2, 2002, p. 144-154.
- Thomas, Stephen R., *Impacts of Design/Information Technology on Project Outcomes*, National Institute of Standards and Technology, 1999, 51 p.
- Thwaites, James Douglas, *Quebec's Construction Industry – Structures, Actors and Dynamics*, Université Laval, 2001, 60 p.
- Tiuri, Ulpu, *Open Building – Housing for Real People*, <http://www.safa.fi/ark/ark3_98/tiuri_engl.html>.
- Toole, Michael, « Uncertainty and home builders' adoption of technological innovations », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 124, n° 4, 1998, p. 323-332.
- Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, *L'exportation: le succès en 10 étapes*, 1997, 72 p.
- Tremblay, Danick, *Les tendances de l'immotique*, Chaire UQAM-SITQ Immobilier, Université du Québec à Montréal, 1998, 22 p.
- Tucker, R.L., *Construction Technologies In Japan*, Japanese Technology Evaluation Center, 1991, 153 p.
- U.K. Department of the Environment, Transport and the Regions, *Building a Better Quality of Life: A Strategy for More Sustainable Construction*, avril 2000 <<http://www.construction.detr.gov.uk/cirm/sustainable/bql/01.htm>>.

- U.K. Department of the Environment, Transport and the Regions, *Planning for the Communities of the Future*, <<http://www.planning.detr.gov.uk/future/index.htm>>.
- U.K. Department of the Environment, Transport and the Regions, *Sustainable Development: Opportunities for Change Sustainable Construction*, 1998, <<http://www.sustainable-development.gov.uk/consult/construction/index.htm>>.
- U.K. Department of Trade and Industry, *Constructing the Future*, 2001, 31 p.
- U.S. Department of Commerce, *Report on Business Development Trade Mission to China June 5-14, 2000*, 32 p., <<http://www.uschinabuild.org/PDF/ChinaTripReport2000.pdf>>.
- U.S. Department of Energy, *Technology Roadmap – Building CHP*, 1998, 75 p.
- U.S. Department of Housing and Urban Development Inc., *Building Better Homes at Lower Costs – The Industry Implementation Plan for the Residential National Construction Goals*, NAHB Research Center, 1998, 73 p.
- U.S. General Services Administration, *Strategic Plan – General Services Administration*, 2002, 48 p.
- University of Greenwich, TPP Housing Innovation Consultants, *There Today – Here Tomorrow – Learning from Abroad: Canadian Housing Systems*, 2000.
- Vambersky, J.N.J.A, « Precast concrete in buildings today and in the future », *Structural Engineer*, vol. 72, n° 15, 1994, p. 237-241.
- Van Vliet, Pieter, *Achieving Excellence in Construction*, Canadian Construction Research Board, 2002, 26 p.
- Vanier, D.J., « Les ordinateurs et la construction », *Digeste de la construction au Canada*, 2002.
- Vanier, Dana J., « Whole life building management : Occupancy of dismantling », *Construction Information Technology 2000*, vol. 2, 2000, p. 983-995.
- Vermeer, Kimberly et Josephine Louie, *The Future of Manufactures Housing*, Joint Center for Housing Studies of Harvard University, 1997, 43 p.
- Virginia Tech, *Arts, Architecture, Design*, 2001, 8 p. <http://www.research.vt.edu/resmag/crossing/2001crossing_arts.pdf>.
- VTT, *VTT Building Technology – 1998*, 1999, 24 p.
- Walker, Vornel, « Computer-aided design or draughting », *WorldPumps*, mars 2002, p. 34-39.
- Warszawski, Abraham, *Industrialized and Automated Building Systems: A Managerial Approach*, E & FN Spon, 1999, 466 p.

- Warszawski, Abraham et Ronie Navon, « Implementation of robotics in building: Current status and future prospects », *Journal of Construction Engineering*, vol. 124, n° 1, 1998, p. 31-41.
- Watts, Graham, « The National Centre for Construction in the UK », *Building Research & Information*, vol. 25, n° 5, 1997, p. 279-284.
- Westhead, Paul, Mike Wright et Deniz Ucbasaran, *International Market Selection Strategies of Manufacturing and Services Firms*, University of Nottingham, 41 p.
- Wiedemann, Stefan, Avi Friedman et Harold Rybczynski, *Modular Prefabrication Versus Conventional Construction Methods as an Affordable Option in the Development of Single Family Detached Housing*, Affordable Homes Program, McGill University, School of Architecture, 1989, 65 p.
- Wiedemann, Stefan J., *Modular Prefabrication Versus Conventional Construction as a Cost Effective Alternative for the Construction of Single Family Detached Housing in the Montréal Area*, McGill University, School of Architecture, 1990, 115 p.
- Wilquin, Hugues, *Construire en aluminium*, Eyrolles, 2001, 150 p.
- Winch, G.M., et R. McAffer, « Institutional reform in British construction: Partnering and private finance », *Building Research and Information*, vol. 28, n° 2, 2000, p. 141-155.
- Winch, Graham, « Zephyrs of creative destruction: Understanding the management of innovation in construction », *Building Research and Information*, vol. 26, n° 4, 1998, p. 268-279.
- Wright, Richard N., Arthur H. Rosenfeld et Andrew J. Fowell, *Federal Research and Development in Support of the U.S. Industry*, National Science and Technology Council, 1995, 35 p.
- Wu, Sarah, *Construction et matériaux de construction – Sud de la Chine*, 2002, 3 p. <<http://www.infoexport.gc.ca/ie-fr/DisplayDoc...jsessionid=2T3NAGGYIEHAECTHNCACFEQ?did=10565>>.

Annexe 1 Les membres du Comité de pilotage

Président

M. Jean-Guy Frenette

Vice-président à la concertation sectorielle
et adjoint au premier vice-président
Fonds de solidarité des travailleurs du Québec

Membres

M^{me} Dominique Derome

Professeure adjointe
Département de génie du bâtiment
et des génies civil et de l'environnement
Université Concordia

M. Paul Fazio

Building, civil and environmental engineering
Université Concordia

M. Roger-Bruno Richard

Faculté d'aménagement – École d'architecture
Université de Montréal

M. Denis Thériault

Directeur
Direction de la machinerie, des équipements
électroniques et de la construction
Ministère des Finances, Économie et Recherche

M. René Tinawi

Directeur
Service de la recherche et de la création
Université du Québec à Montréal

M. Richard Vincent

Vice-président
Ingénierie et R-D
Canam-Manac

Secrétaires du Comité

M. José Viñals

Conseil de la science et de la technologie

M. Daniel Lebeau

Conseil de la science et de la technologie

Annexe 2 Les membres du Conseil de la science et de la technologie

Présidente

M^{me} Hélène P. Tremblay
Conseil de la science et de la technologie

Membres

M. Maurice Avery
Président
Soft Innove inc.

M. André Beauchamp
Président
Enviro Sage

M^{me} Claude Benoit
Présidente et chef de la direction
Société du Vieux-Port de Montréal
Directrice
Centre des sciences de Montréal

M^{me} Francine Bonicalzi
Présidente-directrice générale
Technopole – Vallée du Saint-Maurice

M^{me} Louise Dandurand
Présidente
Fonds québécois de la recherche
sur la société et la culture – FQRSC

M. Jean-Guy Frenette
Vice-président à la concertation sectorielle
et adjoint au premier vice-président
Fonds de solidarité des travailleurs du Québec

M. Martin Godbout
Président
Hodran inc.

M. Pierre-André Julien

Professeur et titulaire de la Chaire Bombardier
Université du Québec à Trois-Rivières

M^{me} Nicole Lafleur

Directrice générale
Cégep de Lévis-Lauzon

M. Hany Moustapha

Senior Fellow et directeur, Programme
de Technologie, formation technique et collaboration
Pratt & Whitney Canada

M. Jean Nicolas

Professeur titulaire
Dépt de génie mécanique – Faculté de génie
Université de Sherbrooke

M. Denis Poussart

Professeur – Département de génie
électrique et informatique
Université Laval

M. Jean-Marc Proulx

Président-directeur général
Gestion Valeo s.e.c.

M^{me} Louise Quesnel

Vice-doyenne – Affaires extérieures
Faculté de génie et d'informatique
Université Concordia

Membres observateurs

M. Jacques Babin

Sous-ministre adjoint
Ministère des Finances, de l'Économie et de la Recherche

M. Gilles Demers

Sous-ministre adjoint
Ministère des Finances, de l'Économie et de la Recherche

M. Michel Desrochers

Directeur général
Institut de recherche en biotechnologie

Secrétaire générale

M^{me} Suzanne D'Annunzio

Conseil de la science et de la technologie

Dans *Bâtir et innover. Tendances et défis dans le secteur du bâtiment*, le Conseil de la science et de la technologie vise à explorer l'innovation dans un secteur traditionnel réputé peu innovant.

L'avis trace d'abord un portrait général de l'industrie de la construction tant au Québec qu'au niveau international. Il examine dans un deuxième temps quatre tendances qui se sont faites jour un peu partout dans le monde au cours des vingt dernières années sur le plan de l'innovation, soit les nouvelles pratiques organisationnelles sur les chantiers, la construction durable, l'industrialisation de la construction de bâtiments et, enfin, le recours aux technologies de l'information.

L'avis donne par la suite un aperçu de la recherche dans les grands pays industrialisés. Nous dressons ensuite un état de la situation du bâtiment au Québec sur plusieurs plans : recherche et développement, réglementation, ressources humaines, sécurité sur les chantiers et exportations.

Enfin, le Conseil formule trois recommandations qu'il juge essentielles pour stimuler l'innovation dans le secteur du bâtiment au Québec au cours des années à venir.

www.cst.gouv.qc.ca

*Conseil de la science
et de la technologie*

Québec

